

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-267239

(43)Date of publication of application : 28.09.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G03F 7/20

G03F 7/22

(21)Application number : 2000-178982 (71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 14.06.2000 (72)Inventor : OZAWA KEN

(30)Priority

Priority number : 2000010207 Priority date : 14.01.2000 Priority country : JP

(54) EXPOSURE METHOD, EXPOSURE DEVICE AND MANUFACTURING METHOD OF DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a high exposure quantity on the surface of a work (wafer or the like) as an object of exposure when an optical member which changes gradually in transmittance or

reflectance is used in the optical system.

SOLUTION: In the exposure method, the work 14 is exposed to the light from the optical system 13 by the

optical system 13 by the optical system 13 by the

optical system 13 by the optical system 13 by the

optical system 13 by the optical system 13 by the

optical system 13 by the optical system 13 by the

optical system 13 by the optical system 13 by the

optical system 13 by the optical system 13 by the

optical system 13 by the optical system 13 by the

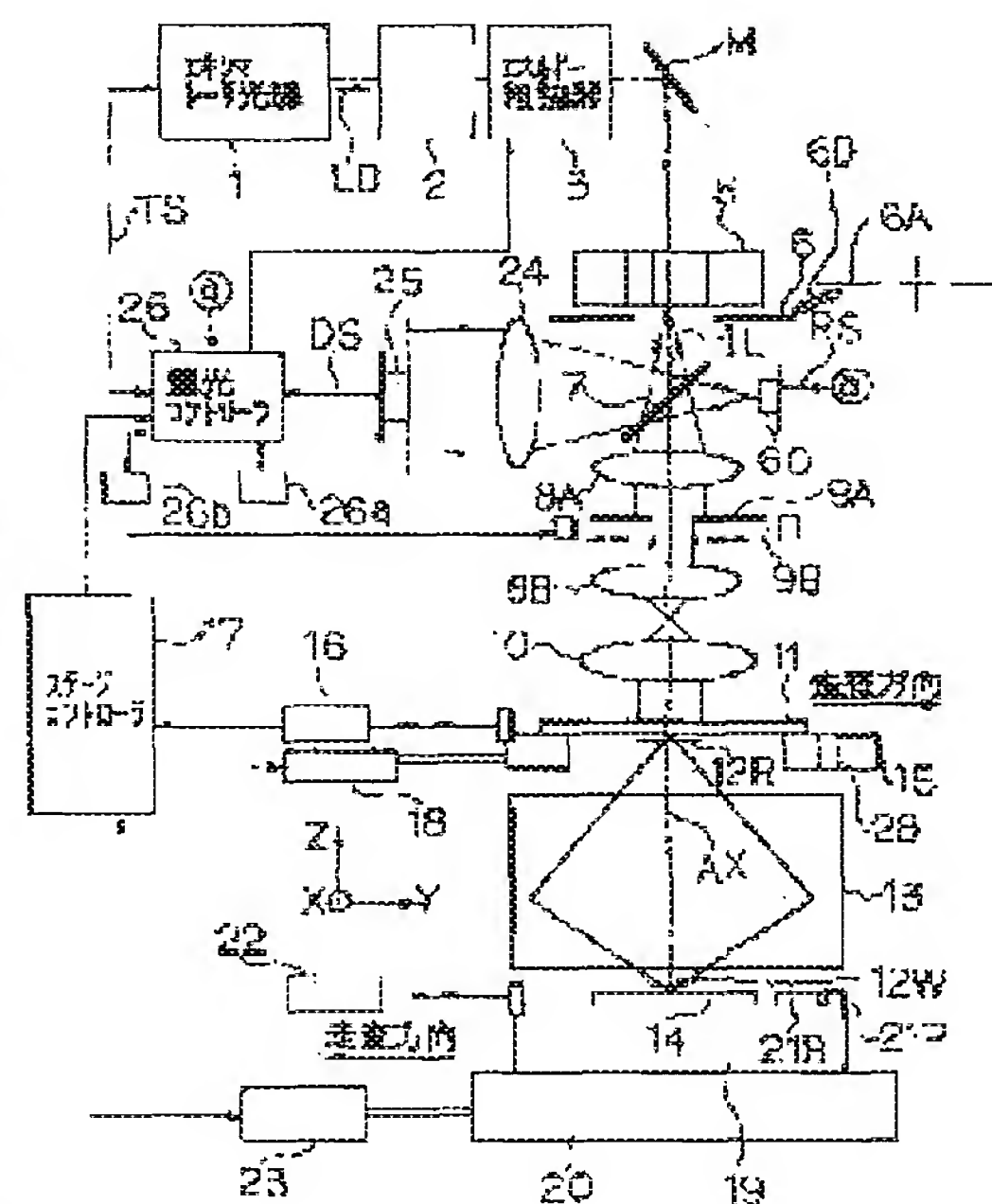
optical system 13 by the optical system 13 by the

optical system 13 by the optical system 13 by the

optical system 13 by the optical system 13 by the

optical system 13 by the optical system 13 by the

optical system 13 by the optical system 13 by the



09 UAO OUAUO

TT QO oO QquOst Qr QAmThQbnU

TT QO oO QsCh9ThOt9O QAmThQ's 9O3Ebn oO
rOq3tbnU

TT Th9 oO QhQ 9EposQ oO QpplBQbn ot9Qr
t9Ch t9O QAmThQ's 9O3Ebn oO Qq3tbn or
QpplBQbn 3onvQrtO9 rOQ3trQbnU

TT QO oO QhQ 9EposQ Qr QpplBQbnU

TOQht numUQrU

TT QO oO QOQ3trQbnU

ThumUQr oO QppOQ OQOThst QAmThQ's
9O3Ebn oO Qq3tbnU

TT QO oO QquOstThO QppOQ OQOThst
QAmThQ's 9O3Ebn oO Qq3tbnU

TT QO oO QxtTh3tbn oO QrTQ9tU

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] In the exposure approach which exposes the 2nd body through a projection system with said exposure beam which illuminated the 1st body with the exposure beam and passed through the pattern of said 1st body The correlation of the quantity of light of said exposure beam beforehand detected in the measure point on the optical path to said 1st body and the quantity of light of said exposure beam on the image surface of said projection system is searched for. It faces controlling addition light exposure to said 2nd body based on the quantity of light and said correlation of said exposure beam detected in said measure point at the time of exposure of said 2nd body. The exposure approach which predicts the amount of fluctuation of the permeability of said projection system according to process conditions and exposure progress, and is characterized by updating said correlation based on the amount of fluctuation of the this predicted permeability.

[Claim 2] It is the exposure approach according to claim 1 characterized by for the wavelength of said exposure beam being 200-170nm, and said projection system containing the refraction member which consists of quartz glass.

[Claim 3] It is the exposure approach according to claim 1 or 2 which said exposure beam is pulsed light and is characterized by said process conditions being at least one condition in the lighting conditions of said 1st body, the class of pattern on said 1st body, the configuration of the lighting field on said 1st body, the pulse energy of said exposure beam, and the accumulation duration of service of the ingredient of the optical member which constitutes said projection system.

[Claim 4] Said exposure progress is claims 1 and 2 characterized by what is expressed by at least one data of the luminescence time amount of said exposure beam, and the nonluminescent time amount of said exposure beam, or the exposure approach given in 3.

[Claim 5] The exposure approach given in any 1 term of claims 1-4 characterized by holding said control parameter independently for every lighting conditions of said 1st body while using the time constant of fluctuation of the rate of change of the transmission to the irradiation time of said exposure beam, and transmission as a control parameter for predicting the amount of fluctuation of the transmission of said projection system.

[Claim 6] The exposure approach given in any 1 term of claims 1-5 characterized by measuring the permeability of said projection system and resetting the forecast of the amount of fluctuation of the permeability of said projection system when the nonluminescent time amount of said exposure beam exceeds predetermined time.

[Claim 7] The exposure approach given in any 1 term of claims 1-5 characterized by suspending the exposure of said exposure beam or irradiating said exposure beam to the whole lighting field when the permeability distribution over said exposure beam of said projection system is measured and dispersion in this permeability distribution exceeds predetermined tolerance, whenever predetermined time amount passes.

[Claim 8] In the aligner which has the exposure light source which generates an exposure beam, the illumination system which irradiates said exposure beam at the 1st body, and the projection system which irradiates said exposure beam which passed through the pattern of said 1st body on the 2nd body The 1st detector which detects the quantity of light of said exposure beam in the measure point in said illumination system, The 2nd detector which detects the quantity of light of said exposure beam on the image surface of said projection system, The light exposure control system which

memorizes the correlation of the output of said 1st detector, and the output of said 2nd detector, and controls addition light exposure to said 2nd body based on the output and said correlation of said 1st detector, The aligner which predicts the amount of fluctuation of the permeability of said projection system according to process conditions and exposure progress, and is characterized by having the prediction control system which updates said correlation based on the amount of fluctuation of the this predicted permeability.

[Claim 9] It is the aligner according to claim 8 which prepares the lighting condition switch member which switches the lighting conditions over said 1st body into said illumination system, and is characterized by said prediction control system computing the forecast of the amount of fluctuation of the permeability of said projection system according to said lighting conditions.

[Claim 10] The aligner according to claim 8 or 9 characterized by forming the 3rd detector which measures quantity of light distribution of said exposure beam in the image surface of said projection system, and measuring permeability distribution of said projection system with this 3rd detector.

[Claim 11] The device manufacture approach including the process which imprints a mask pattern at a work piece using the exposure approach of a publication in any 1 term of claims 1-7.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] lithography for this invention to manufacture devices, such as a semiconductor device, image sensors (CCD etc.), a liquid crystal display component, a plasma display component, or the thin film magnetic head, -- it is in process, and it is used when the projection aligner of scan exposure molds, such as step - which uses the exposure beam from the source of pulsed light especially, and - scanning method, performs light exposure control about the exposure approach and equipment which are used, and it is suitable.

[0002]

[Description of the Prior Art] The light exposure control function for storing the addition light exposure to each point in each shot field of the wafers (or glass plate etc.) with which the photoresist (sensitive material) as an exposed substrate was applied within proper limits as one fundamental function in the projection aligner currently used in case a semiconductor device etc. is manufactured conventionally occurs. As light exposure control with the projection aligner of an one-shot exposure mold like the conventional stepper Even when using any of the continuation light source like a mercury lamp, or the pulse laser light source like an excimer laser The addition value of the light exposure on the wafer indirectly measured through the integrator sensor which consists of a photodetector in an illumination-light study system fundamentally Cut-off control of continuing exposure was performed until it exceeded the predetermined critical level corresponding to predetermined setting light exposure (target light exposure). Moreover, since it had dispersion in energy for every pulse laser light when using the pulse laser light source as the exposure light source, desired light exposure control-precision repeatability had been acquired by exposing with two or more pulse laser light more than the predetermined minimum exposure pulse number.

[0003] Furthermore, in the projection aligner of a scan exposure mold like step - used in recent years and - scanning method, the method (opening light exposure control system) which integrates the quantity of light of each pulsed light as an exposure light (exposure beam) simply conventionally, and performs light exposure control was used. On the other hand, the addition light exposure to the field included to a slit-like exposure field (radiation field) to a scanning direction on a wafer is measured on real time for every pulsed light, the target energy of the following pulsed light is computed according to an individual based on the addition light exposure, and the method (every pulse light exposure control system) which controls the energy of each pulsed light is also proposed as indicated by JP,6-252022,A recently. This whole pulse, with a light exposure control system, while being able to make dispersion in addition light exposure smaller than an opening light exposure control system, it is applicable also to the projection aligner of an one-shot exposure mold.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Thus, by performing light exposure control with high precision, the dimensional accuracy of the pattern (resist pattern) of the sensitive material after development improves, and near resolution is obtained with the marginal resolution determined according to the wavelength (exposure wavelength) of exposure light, the numerical aperture of projection optics, etc. In order to raise the marginal resolution further, short wavelength-ization of the exposure wavelength itself is also progressing and ArF excimer laser (wavelength of 193nm) is also being used in recent years as the exposure light source of the next generation of KrF excimer

laser (wavelength of 248nm).

[0005] Thus, the optical materials with practical permeability which can be used as ** material of the refraction members (lens etc.) from which wavelength constitutes projection optics to the exposure light of a vacuum ultraviolet area about 200nm or less are quartz glass (synthetic quartz) and fluorite in the present condition. In this, since fluorite is expensive, the manufacturing cost of projection optics can be low held down by using many quartz glass as much as possible.

[0006] However, excimer laser light is pulsed light and the phenomenon of changing to an optical material like quartz glass with the time constant of the order the permeability of whose is about several 10 seconds if the pulsed light of the high energy of a vacuum ultraviolet area is irradiated is known. the phenomenon -- a certain extent -- if it is reversible and the exposure of the pulsed light is stopped, the permeability of the optical material will be recovered in the initial value direction with a predetermined time constant. Therefore, when performing sequential exposure to all the shot fields on a wafer using the pulsed light, the permeability of projection optics changes gradually.

[0007] Thus, if light exposure control is performed based on the relation (correlation with an integrator sensor and the image surface) measured before exposure, and the detection result of an integrator sensor if the permeability of projection optics changes in order that the relation between the quantity of light of the exposure light detected by the above-mentioned integrator sensor and the quantity of light in the image surface of projection optics may change for example, the error of addition light exposure will arise. Therefore, in order to obtain higher resolution, in the projection aligner which uses ArF excimer laser light, there is un-arranging [that target resolution is no longer obtained]

[0008] Similarly, in an illumination-light study system, when permeability fluctuation arises in the optical member from an integrator sensor to the reticle as a mask, the control precision of light exposure falls. It is also known by controlling the amount of dopes of the hydrogen ion in the component contained in the interior in quartz glass (H+) about this that the amount of fluctuation of the short-term permeability can be reduced. However, in such quartz glass, degradation (compaction) of the property by the exposure over the long period of time of the pulsed light becomes large. Therefore, although exchange is able to use it like the interior of an illumination-light study system in the part which can be performed comparatively easily, as for use in the part where exchange is difficult, avoiding is desirable like the interior of projection optics. Since there is an inclination for the quartz glass accompanied by short-term permeability fluctuation to be used for the result, especially projection optics, even if there is such permeability fluctuation, development of the exposure approach and aligner with which high light exposure control precision is acquired is desired.

[0009] Moreover, not only permeability but when changing the reflection factor of a reflective member in the short term in the projection optics which consists for example, of reflective refractive media, the light exposure control which can cope with it is required. This invention sets it as the 1st purpose to offer the exposure approach by which high light exposure control precision is acquired on the bodies for exposure (wafer etc.), even when an optical member to which permeability and a reflection factor are gradually changed in optical system is used in view of this point.

[0010] Moreover, when exposing using pulsed light, this invention sets it as the 2nd purpose to offer the exposure approach by which high light exposure control precision is acquired on the body for exposure, even if it changes gradually the permeability (permeability of the whole also including a reflection factor) of optical system. Moreover, this invention aims also at offering the aligner which can use such an exposure approach, and the highly precise device manufacture approach using the exposure approach.

[0011]

[Means for Solving the Problem] In the exposure approach which exposes the 2nd body (14) through a projection system (13) with the exposure beam which the 1st exposure approach by this invention illuminated the 1st body (11) with the exposure beam, and passed through the pattern of the 1st body The correlation of the quantity of light and the quantity of light of the exposure beam on the image surface of the projection system of the exposure beam beforehand detected in the measure point on the optical path to the 1st body (7) is searched for. It faces controlling addition light exposure to the 2nd body based on the quantity of light and the correlation of the exposure beam detected in the

measure point at the time of exposure of the 2nd body. According to process conditions and exposure progress, the amount of fluctuation of the permeability of the projection system is predicted, and the correlation is updated based on the amount of fluctuation of the this predicted permeability.

[0012] While asking for the multiplier for considering as the correlation, for example, calculating the quantity of light in the image surface from the quantity of light in the measure point according to this invention, it asks for the rate of change of the permeability of the projection system as a function of process conditions and exposure progress beforehand. And based on the function, the amount of fluctuation of the permeability is calculated during exposure, and the multiplier can be amended by multiplying the multiplier by the permeability after the fluctuation. By multiplying the measurement value of the quantity of light in the measure point by the multiplier after the amendment, the quantity of light of the exposure beam on the 2nd body can be calculated indirectly, and high light exposure control precision is acquired by controlling so that the addition light exposure on the 2nd body which integrates the quantity of light and is obtained turns into target light exposure (setting light exposure).

[0013] In this case, it has the average of spatial permeability fluctuation of that projection system, amending that multiplier distributes the error of the light exposure in each partition field on that 2nd body (shot field) to the average by small computational complexity, and it is made to min. In addition, although the projection system is used in this invention as optical system which predicts the amount of fluctuation of permeability In having the illumination system which irradiates the 1st body with an exposure beam and detecting the quantity of light of an exposure beam in the predetermined measure point in the illumination system The optical system which includes some of optical member and its projection system of the illumination system arranged from the measure point before the 1st body as optical system which predicts the amount of fluctuation of the permeability is used. That is, the optical member arranged at the optical path of a before [from the measure point in an illumination system / the 2nd body] becomes the optical system which predicts the amount of fluctuation of the permeability.

[0014] Moreover, the wavelength of the exposure beam is 200-170nm as an example, and the projection system contains the refraction member which consists of quartz glass. Quartz glass can be treated mathematical almost correctly as general linear system by cutting (fluctuation) of association of the permeability fluctuation of Si-X, and recombination (relaxation) while there is an inclination to change permeability in the short term to the light (especially pulsed light of high power) of a vacuum ultraviolet area. Then, since light-exposure control can be performed with high precision based on this forecast by carrying out prediction count of the amount of fluctuation of the permeability which has occurred during the exposure by which an exposure beam is irradiated, and the amount of relaxation of the permeability which has occurred during step migration of that 2nd body and exchange, especially the control approach that predicts the amount of fluctuation of permeability like this invention is effective.

[0015] The exposure beam is pulsed light as an example. Moreover, the process condition In the size of the lighting conditions of the 1st body, the class of pattern on the 1st body, and the lighting field on the 1st body, the pulse energy consistency of the (chip size) exposure beam (particle fluence), And it is at least one condition in the accumulation duration of service of the ingredient of the optical member which constitutes the projection system, and the exposure progress is expressed by at least one data of the luminescence time amount of the exposure beam, and the nonluminescent time amount of the exposure beam.

[0016] For example, according to the class of pattern on the 1st body, if a difference is in a pattern consistency locally, dispersion will arise also in permeability distribution by dispersion in the intensity distribution of the exposure beam which passes through the inside of a projection system, and the illuminance unevenness in the exposure field on the 2nd body will be changed. Also in this case, light exposure proper on the average can be obtained by predicting the unevenness of permeability distribution according to the class of that pattern.

[0017] Moreover, while using the time constant of fluctuation of the rate of change of the transmission to the exposure power of the exposure beam, and transmission as a control parameter for predicting the amount of fluctuation of the transmission of the projection system, it is desirable to

hold the control parameter independently for every lighting conditions of the 1st body. By holding a control parameter (controlled parameter) independently for every lighting conditions, good light exposure amendment is attained on every lighting condition.

[0018] Next, in the 1st exposure approach, when the nonluminescent time amount of the exposure beam exceeds predetermined time, the 2nd exposure approach by this invention measures the permeability of the projection system, and resets the forecast of the amount of fluctuation of the permeability of the projection system. According to this this invention, like [at the time of exchange of the 2nd body and alignment] If there is long non-irradiation time compared with the time of step migration of the 2nd body, not only in relaxation by the recombination of the cut above-mentioned association Since there is a possibility of causing permeability fluctuation of the amount which cannot disregard the physical development with difficult prediction of adhesion in the optical system of the pollutant which remains all over the space within the chamber of an aligner and an optical path etc., either, the predictability of permeability may fall. Thus, when the predictability of permeability deteriorates, permeability measurement of a projection system is carried out to real time for a check, it is resetting the forecast based on prediction controlling expression to initial value, and the control precision of light exposure improves.

[0019] Moreover, when a measurement result to which permeability measurement of a projection system is performed and the predictability of permeability falls after long non-irradiation time is obtained, a dummy exposure is performed after non-irradiation time, and it may be made to carry out optical washing of the pollutant adhering to optical system. Also when similarly exposure on different lighting conditions like the so-called double exposure which expose each partition field on the 2nd body (shot field) using two kinds of mask patterns and two kinds of lighting conditions is performed continuously and the relaxation phenomenon by the lighting conditions from which it differs [last], and the fluctuation phenomenon by future lighting conditions are intermingled, predictability deteriorates. Also in this case, when it judges that degradation of predictability exceeds predetermined level, exposure is interrupted, permeability measurement of the real time for a check is performed, it is resetting prediction controlling expression and the control precision of light exposure improves.

[0020] Furthermore, when it can expect changing these control parameter (controlled parameter) itself gradually by the long-term exposure of an exposure beam, it is desirable to make these control parameters into the constant which is a constant which measures periodically and should be updated and which can be updated. By this, it continues at a long period of time, and good light exposure amendment is attained. Moreover, whenever predetermined time amount passes, when the permeability distribution over the exposure beam of the projection system is measured and dispersion in this permeability distribution exceeds predetermined tolerance, it is desirable to suspend the exposure of the exposure beam, to make fluctuation of the permeability of the projection system ease, or to remove the 1st body, to irradiate the exposure beam to the whole lighting field, and to make fluctuation ease. Since there is a possibility that the light exposure unevenness on the 2nd body may exceed tolerance when dispersion in permeability distribution becomes large too much, when such, light exposure distribution is equalized by making the permeability equalize.

[0021] Next, the exposure light source in which the aligner of this invention generates an exposure beam (1). The illumination system which irradiates the exposure beam at the 1st body (11) (2, 3M, 5, 8A, 8B, 10, 11). In the aligner which has the projection system (13) which irradiates the exposure beam which passed through the pattern of the 1st body on the 2nd body (14) The 1st detector which detects the quantity of light of the exposure beam in the measure point in the illumination system (7) (25), The 2nd detector which detects the quantity of light of the exposure beam on the image surface of the projection system (21B), The light exposure control system which memorizes the correlation of the output and the output of the 2nd detector of the 1st detector, and controls addition light exposure to the 2nd body based on the output and correlation of the 1st detector (26), According to process conditions and exposure progress, the amount of fluctuation of the permeability of the projection system is predicted, and it has the prediction control system (26b) which updates the correlation based on the amount of fluctuation of the this predicted permeability.

[0022] The exposure approach of this invention can be used with this aligner. In addition, in this invention, although the amount of fluctuation of the permeability of a projection system is predicted,

the amount of fluctuation of the permeability of the optical system (a part of two or more optical members which constitute an illumination system, and a projection system are included) from the measure point in the illumination system to the 2nd body may be predicted. However, since most originates in the amount of fluctuation of a projection system, the amount of fluctuation of permeability can consider substantially that the amount of fluctuation of the permeability of the optical system from the measure point to the 2nd body is the amount of fluctuation of the permeability of the projection system. Even in this case, when the amount of fluctuation of the permeability of the optical member (a part of illumination system) arranged from that measure point before that projection system is large, it cannot be overemphasized that it is taken into consideration. [0023] In this case, the lighting condition switch member (6, 6A, 6D) which switches the lighting conditions over that 1st body is prepared into that illumination system, and, as for that prediction control system, it is desirable to compute the forecast of the amount of fluctuation of the permeability of that projection system according to that lighting condition. Moreover, it is desirable to form the 3rd detector (21P) which measures quantity of light distribution of that exposure beam in the image surface of that projection system, and to measure permeability distribution of that projection system with this 3rd detector.

[0024] Next, the device manufacture approach of this invention includes the process which imprints a mask pattern to a work piece using the exposure approach of this invention. Since addition light exposure can control with high precision by performing the pattern of a device for the pattern of the 1st body, and exposing considering the 2nd body as work pieces (substrates, such as a wafer etc.) according to this invention, the highly precise device excellent in line breadth precision etc. can be mass-produced.

[0025]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, with reference to a drawing, it explains per example of the gestalt of operation of this invention. In the projection aligner of step - which uses the excimer laser as a source of pulsed light for the exposure light source, and - scanning method, this example applies this invention, when performing light exposure control.

[0026] Drawing 1 shows the projection aligner of this example, and in this drawing 1, the cross-section configuration of a beam is orthopedically operated so that incidence of the laser beam LB as an exposure beam by which pulse luminescence was carried out from the excimer laser 1 as the exposure light source may be efficiently carried out to the fly eye lens 5 as a consecutive optical integrator (a YUNIFO mizer or homogenizer) according to the beam plastic surgery optical system 2 which consists of a cylinder lens, a beam expander, etc. As an excimer laser 1, the ArF excimer laser (wavelength of 193nm) which is a source of pulsed light of a vacuum ultraviolet area with a wavelength of 200nm or less is used by this example. Moreover, it is F2 instead of an excimer laser 1. Laser (wavelength of 157nm), and Kr2 This invention can be applied also when using the laser light source of pulse luminescence molds, such as laser (wavelength of 146nm). Furthermore, this invention can be applied also when using the laser light source which carries out wavelength conversion as the exposure light source, after amplifying the harmonic generation equipment of a metallic-fumes laser light source or an YAG laser, or semiconductor laser with optical fiber amplifiers, such as an erbium-doped optical fiber amplifier (EDFA).

[0027] Incidence of the laser beam LB injected from the beam plastic surgery optical system 2 is carried out to the energy coarse adjustment unit 3 as an extinction member. By arranging two or more ND filters with which transmission (= the rate of 1-extinction) differs, respectively, and rotating the revolver with a drive motor on two steps which can be rotated freely of revolvers, the energy coarse adjustment unit 3 is constituted so that the transmission to the laser beam LB which carries out incidence can be switched from 100% in two or more steps. In addition, you may constitute from one step or two or more steps of filter exchange members equipped with two or more mesh filters with which one step of revolver equipped with two or more ND filters differs the energy coarse adjustment unit 3 from permeability.

[0028] In drawing 1, incidence of the laser beam LB injected from the energy coarse adjustment unit 3 is carried out to the fly eye lens 5 as an optical integrator (a YUNIFO mizer or homogenizer) through the mirror M for optical-path bending. The fly eye lens 5 forms much secondary light sources, in order to illuminate the reticle 11 as a latter mask by uniform illumination distribution.

The aperture diaphragm (the so-called "sigma diaphragm") 6 of an illumination system is arranged in the injection side of the fly eye lens 5, and circular opening for lighting is usually formed in the aperture diaphragm 6. It consists of these examples so that the aperture diaphragm 6 can be exchanged for the aperture diaphragm of the arbitration of the aperture diaphragm for deformation lighting (un-illustrating) in which aperture-diaphragm 6A for zona-orbicularis lighting in which zona-orbicularis-like opening was formed, and two or more openings which carried out eccentricity were formed, the small aperture diaphragms (un-illustrating) for coherence factors (sigma value) in which small opening was formed by driving gear 6D. The lighting conditions over a reticle 11 can be switched by switching aperture diaphragms 6 and 6A etc. by driving gear 6D.

[0029] In addition, there is also a possibility that the total quantity of light of a laser beam may decrease, and the illuminance on a reticle may fall sharply, by arranging the aperture diaphragm 6 which shades the center section by the side of injection of the fly eye lens 5. In this case, in order to change a laser beam LB without quantity of light loss into the zona-orbicularis-like flux of light between the optical paths between an excimer laser 1 and the fly eye lens 5, a zona-orbicularis-like flux of light conversion member with a conic refracting interface may be arranged.

[0030] A reflection factor carries out incidence of the laser beam (it is hereafter called "the pulse illumination light IL") injected from the secondary light source of a large number in opening of an aperture diaphragm 6 to the small beam splitter 7 with big transmission, and the pulse illumination light IL as an exposure beam which penetrated the beam splitter 7 passes opening of the rectangle of fixed radiation field diaphragm (fixed reticle blind) 9A through 1st relay lens 8A. Moreover, by also arranging movable radiation field diaphragm 9B in which the location and width of face corresponding to a scanning direction of a reticle 11 have adjustable opening near the fixed radiation field diaphragm 9A, and restricting a radiation field further through the movable radiation field diaphragm 9B at the time of initiation of scan exposure, and termination, it is constituted so that the exposure to an unnecessary part may be prevented. In this case, movable radiation field diaphragm 9B is arranged on the conjugation side over the pattern side of a reticle, and fixed radiation field diaphragm 9A is arranged in the location slightly defocused from that conjugation side.

[0031] The pulse illumination light IL as an exposure beam which passed fixed radiation field diaphragm 9A and movable radiation field diaphragm 9B illuminates lighting field 12R of the rectangle on the reticle 11 held on the reticle stage 15 by uniform illumination distribution through 2nd relay lens 8B and a condensing lens 10. Projection exposure of the image which reduced the pattern in lighting field 12R on a reticle 11 through projection optics 13 for the projection scale factor MRW (MRW is $1/4$, $1/5$, and $1/6$ grades) is carried out exposure field (radiation field) 12W of the rectangle on the wafer (wafer) 14 with which the photoresist as an exposed substrate was applied. Wafers 14 are disc-like substrates, such as semi-conductors (silicon etc.) or SOI (silicon on insulator). A reticle 11 and a wafer 14 are equivalent to the 1st body and the 2nd body of this invention, respectively, and projection optics 13 supports the projection system of this invention. The Z-axis is taken in parallel with the optical axis AX of projection optics 13 hereafter, and a non-scanning direction perpendicular to the direction of Y and its scanning direction is explained for the scanning direction (namely, direction parallel to the space of drawing 1) of the reticle 11 to lighting field 12R as a direction of X in a flat surface perpendicular to the optical axis AX.

[0032] While a reticle stage 15 carries out uniform migration (scan) of the reticle non-illustrated base top in the direction of Y by the reticle stage mechanical component 18 of a linear motor system at this time, it moves slightly so that a synchronization error may be amended to the direction of X, the direction of Y, and a hand of cut. The X coordinate of the migration mirror fixed on the reticle stage 15 and the reticle stage 15 measured by the external laser interferometer 16, Y coordinate, and an angle of rotation are supplied to the stage controller 17, and the stage controller 17 controls the location and rate of a reticle stage 15 through the reticle stage mechanical component 18 based on the supplied coordinate. Moreover, the measurement slit 28 (refer to drawing 4) which becomes a non-scanning direction (the direction of X) from long and slender opening is formed in the location which shifted to the scanning direction to the reticle 11 of a reticle stage 15. In this example, permeability distribution of projection optics 13 is measured by moving the measurement slit 28 to lighting field 12R like the after-mentioned.

[0033] On the other hand, a wafer 14 is laid on Z tilt stage (sample base) 19 through a non-illustrated

wafer holder, and Z tilt stage 19 is laid on X-Y stage 20. X-Y stage 20 carries out uniform migration (scan) of the wafer W in the direction of Y while performing step migration of a wafer 14 in the direction of X, and the direction of Y on the non-illustrated wafer base. Moreover, Z tilt stage 19 has the function to adjust the tilt angle of the wafer 14 to XY flat surface while adjusting the location (focal location) of the Z direction of a wafer 14. The X coordinate of the migration mirror fixed on Z tilt stage 19 and X-Y stage 20 measured by the external laser interferometer 22, Y coordinate, and an angle of rotation are supplied to the stage controller 17, and the stage controller 17 controls the location of X-Y stage 20, and a rate through the wafer stage mechanical component 23 of a linear motor system based on the supplied coordinate. The wafer stage consists of a Z tilt stage 19 and X-Y stage 20.

[0034] Moreover, actuation of the stage controller 17 is controlled by the main control system which carries out control control of the whole non-illustrated equipment. And the actuation which moves the shot field for [on a wafer 14] exposure to a scan starting position by step migration of X-Y stage 20 at the time of scan exposure, A reticle stage 15 is minded for a reticle 11, and it is a rate VR to the direction (or the direction of -Y) of +Y to lighting field 12R. It synchronizes with scanning. The actuation which scans a wafer 14 in the direction (or the direction of +Y) of -Y to exposure field 12W through X-Y stage 20 by rate MRW-VR (projection scale factor [as opposed to the wafer 14 from a reticle 11 in MRW]) is repeated by step - and - scanning method. The contraction image of the pattern of a reticle 11 is imprinted by this to all the shot fields on a wafer 14. In addition, it is because projection optics 13 performs reversal projection that the scanning direction of a reticle 11 and a wafer 14 is reverse, and when projection optics 13 projects an erect image, the scanning direction of a reticle 11 and a wafer 14 becomes the same.

[0035] Moreover, illuminance unevenness sensor 21P which consist of an optoelectric transducer near the wafer 14 on Z tilt stage 19 are established permanently, the light-receiving side which is illuminance unevenness sensor 21P is set as the same height as the front face of a wafer 14, and 21Pa (refer to drawing 5) of pinhole-like light sensing portions is formed. Furthermore, exposure monitor 21B which consists of an optoelectric transducer by which light sensing portion 21Ba (refer to drawing 5) larger than the exposure field 12W was formed on the Z tilt stage 19 is established permanently. Exposure monitor 21B and illuminance unevenness sensor 21P support the 2nd detector and the 3rd detector of this invention, respectively.

[0036] In order for there to be sensibility in the same wavelength region (for example, wavelength of 300nm - about 100nm) as the pulse illumination light IL as exposure monitor 21B and illuminance unevenness sensor 21P and to detect the pulse illumination light, optoelectric transducers, such as a photodiode which has a high response frequency, or photograph multi-pliers, can be used. Exposure monitor 21B and the detecting signal of illuminance unevenness sensor 21P are supplied to the exposure controller 26 through non-illustrated a peak hold circuit and an analog-to-digital (A/D) converter.

[0037] In drawing 1 , the pulse illumination light IL which was injected from the fly eye lens 5 and reflected by the beam splitter 7 as a measure point is received by the integrator sensor 25 which consists of an optoelectric transducer as the 1st detector through a condenser lens 24, and the photo-electric-conversion signal of the integrator sensor 25 is supplied to the exposure controller 26 as an output DS [digit] through non-illustrated a peak hold circuit and an A/D converter. The correlation coefficient $\alpha 1$ with the pulse energy (light exposure) per unit area of the pulse illumination light IL on the output DS of the integrator sensor 25 and the front face of the wafer 14 corresponding to exposure field 12W (image surface) of the projection optics 13 measured by exposure monitor 21B [mJ/cm²] is called for beforehand, and the correlation coefficient $\alpha 1$ is stored in storage section 26a, such as a magnetic disk drive connected to the exposure controller 26. in addition, although what is necessary is just to use it as it is also while exposing the correlation coefficient $\alpha 1$ for which it asked at the time of initiation of an exposure process etc. when the permeability of projection optics 13 is about 1 law, in order to perform light exposure control so that it can be coped with, also when changing the permeability of projection optics 13 in the short term like the after-mentioned in this example, the correlation coefficient $\alpha 1$ is a variable (function of time amount).

[0038] The exposure controller 26 controls luminescence timing, luminescence power, etc. of an

excimer laser 1 by supplying control information TS to an excimer laser 1 synchronizing with the performance information of the stage system (a reticle stage 15 and wafer stage (19 20)) from the stage controller 17. Furthermore, the exposure controller 26 controls transmission by switching the ND filter of an energy coarse adjustment unit 3, and the stage controller 17 controls the switching action of movable radiation field diaphragm 9B synchronizing with the performance information of a stage system.

[0039] Moreover, the amount monitor 60 of reflection which becomes the pupil surface of an illumination-light study system and a location [****] from an optoelectric transducer by the reflector side of the rear face of a beam splitter 7 is arranged. With this configuration, the light by which the pulse illumination light IL (reflected light) reflected with the wafer 14 was reflected in the beam splitter 7 by return and the beam splitter 7 through 2nd relay lens 8A from projection optics 13 is received by the amount monitor 60 of reflection, and the detecting signal RS of the amount monitor 60 of reflection is supplied to the exposure controller 26. The monitor of the quantity of light of the whole which passes the projection optics 13 can be carried out more to accuracy by the monitor of the quantity of light (it considering as the 1st quantity of light) which carries out incidence to projection optics 13 from the detecting signal of the integrator sensor 25 being carried out, and being reflected with a wafer 14 from the detecting signal of the amount monitor 60 of reflection, and adding the 1st quantity of light and 2nd quantity of light during exposure, since the quantity of light (it considers as the 2nd quantity of light) passed again can carry out the monitor of the projection optics 13.

[0040] Moreover, according to the integral value of the quantity of light of the whole which passes the projection optics 13, image formation properties, such as distortion (a scale-factor error is included) of projection optics 13 and a best focus location, change with time. Then, in quest of the relation between the integral value of the quantity of light of that whole, and the variation of the image formation property of that projection optics 13, it memorizes to storage section 26a beforehand, and during exposure, the exposure controller 26 calculates the integral value of the quantity of light of the whole which passes projection optics 13 from the detection result of that integrator sensor 25 and the amount monitor 60 of reflection, and calculates the variation of the image formation property of projection optics 13 from this integral value. And when there is a possibility that the variation of the image formation property may exceed tolerance, for example, the exposure controller 26 amends the image formation property of projection optics 13 through the image formation property compensators (equipment which drives some lenses of projection optics 13) which are not illustrated [for example,], or amends the focal location of a wafer 14 according to the amount of fluctuation of a best focus location. Exposure is performed in the always optimal image formation property by this.

[0041] Next, with reference to drawing 2, it explains per configuration of the light exposure control system of this example. Drawing 2 shows the light exposure control system of the projection aligner of drawing 1, in the interior of the excimer laser 1 of this drawing 2, incidence of the laser beam emitted in pulse from laser cavity 1a is carried out to beam splitter 1b which has reflection factors with it, and the laser beam LB which penetrated beam splitter 1b is injected outside. [high transmission and] [few] Moreover, incidence is carried out to energy monitor 1c which the laser beam reflected by beam splitter 1b becomes from an optoelectric transducer, and the photo-electric-conversion signal from energy monitor 1c is supplied to energy controller 1d as an output ES through the non-illustrated peak hold circuit. The unit of the controlled variable of the energy corresponding to the output ES of energy monitor 1c is [mJ/pulse]. At the time of the usual luminescence, energy controller 1d, the supply voltage in high voltage power supply 1e is controlled, and the energy per one pulse in laser cavity 1a is determined according to this supply voltage so that the output ES of energy monitor 1c may serve as a value corresponding to the desired value of the energy per one pulse in the control information TS supplied from the exposure controller 26. By this, the pulse energy of an average of the laser beam LB injected from an excimer laser 1 serves as a value directed by the exposure controller 26.

[0042] The energy per one pulse of an excimer laser 1 is usually the main predetermined energy E0. Although it sets and stabilizes, it is the main energy E0. It is constituted so that it can change in the predetermined range up and down (continuous fine control). Moreover, it is arranged on the outside

of beam splitter 1b in an excimer laser 1 also shutter 1f for shading a laser beam LB according to the control information from the exposure controller 26.

[0043] Furthermore, in drawing 2, at the time of calculation of the below-mentioned correlation coefficient, or updating, the throughput corresponding to the output ES of energy monitor 1c is supplied to the exposure controller 26 through energy controller 1d, and a correlation with the output DS of the throughput corresponding to the output ES of energy monitor 1c and the integrator sensor 25 is searched for by the exposure controller 26. And at the time of scan exposure, the exposure controller 26 sends the predetermined control information TS to energy controller 1d, makes pulse luminescence perform to an excimer laser 1 a fixed period substantially, integrates the output DS from the integrator sensor 25 for every pulse illumination light, and calculates indirectly the actual addition light exposure in each point on a wafer 14 one by one. And the exposure controller 26 tunes adjustment of the permeability in an energy coarse adjustment unit 3, and energy per one pulse in an excimer laser 1 finely like the after-mentioned so that the addition light exposure at the time of each point passing exposure field 12W of drawing 1 may agree in predetermined tolerance (precision) in the setting light exposure (target light exposure) to the photoresist on a wafer 14.

[0044] Now, the image formation system equipped with the lens which consists of fluorite (CaF_2) of one sheet or two or more sheets the lens as a refraction member of two or more sheets which consists of quartz glass (SiO_2), and for chromatic-aberration amendment as projection optics 13 of the example of the book of drawing 1 is used. In this case, since fluorite is expensive, that amount used is stopped by necessary minimum. Moreover, generating of short-term permeability fluctuation is permitted and not the ingredient that controlled the amount of dopes of a hydrogen ion (H^+), and made small the short-term amount of permeability fluctuation as the quartz glass but the ingredient which made small the long-term amount of permeability fluctuation (compaction) is used. This is because the optical member in projection optics 13 is not easy to exchange.

[0045] On the other hand, although fluorite is used quartz glass and if needed also as refraction members in the illumination-light study system containing the optical member from a beam splitter 7 to a condensing lens 10 (lens etc.) Since the refraction member in an illumination-light study system is easy to exchange, the ingredient (ingredient with which permeability is changed gradually in the long run) which controlled the amount of dopes of a hydrogen ion (H^+) as an ingredient of the quartz glass, and made small the short-term amount of permeability fluctuation is used. Moreover, since there is little number of sheets of the optical member currently used even for the condensing lens 10 from the beam splitter 7 (measure point) in an illumination-light study system compared with the number of sheets of the optical member in projection optics 13, there is no need of making an issue of most short-term fluctuation of permeability about an illumination-light study system.

[0046] In the quartz glass currently used into projection optics 13 A silicon atom (Si), and the atom and ion (with oxygen (O), silicon (Si), etc.) of the perimeter If association (Si-X) expressed with "X" below is cut by the exposure of pulsed light with a strong vacuum ultraviolet area, permeability is changed in the short term (for example, it falls) and the exposure of the pulsed light is interrupted It is known that the association (Si-X) will be recombined and permeability will return gradually according to a short-term relaxation phenomenon.

[0047] Exposure (exposure of exposure light) to a series of shot fields is performed to t_1 , t_2 - t_3 , t_4 - t_5 , and --. therefore, it is shown in drawing 3 (a) -- as -- time t_0 - As what performs step migration (interruption of an exposure) to t_1 - t_2 , t_3 - t_4 , and -- at the time of the meantime, if the permeability of the optical system from the beam splitter 7 of this example to a wafer 14 is set to T Since most originates in permeability fluctuation of projection optics 13, the amount of fluctuation of the permeability T can consider that the permeability T of the optical system is the permeability of the projection system of this invention. The permeability T (initial value is set to T (0)) of the optical system (mainly projection optics 13) will decrease exponentially, as a curve 36 shows during the exposure of exposure light, and during interruption of an exposure, as a curve 37 shows, it will increase exponentially. Then, in this example, it asks for time constant τ of the curves 36 and 37, and rate of change calcium like the after-mentioned beforehand, and when [t] it is under exposure, in operation part 26b connected to the exposure controller 26 of drawing 1, rate-of-change $\Delta T(t)$ in t is computed at the time of the permeability T of the optical system, and the exposure controller 26 performs light exposure control based on this.

[0048] In addition, permeability fluctuation short-term also as a refraction member from a beam splitter 7 to a condensing lens 10 may be accepted in the illumination-light study system of drawing 1, and an ingredient with little long-term permeability fluctuation may be used. Also in this case, what is necessary is just to compute the permeability T of the optical system from a beam splitter 7 to a wafer 14. The value which multiplied this permeability T by the multiplier for unit conversion becomes the above-mentioned correlation coefficient $\alpha 1$.

[0049] Although the numerical aperture AR specified by movable radiation field diaphragm 9B of drawing 1 is needed on the occasion of calculation of rate-of-change $\Delta T(t)$ of the above-mentioned permeability, the numerical aperture AR changes to trapezoidal shape between 0 and 1 (100%) between t_0 - t_1 the time of exposure (exposure of exposure light) to one shot field being performed, as shown in drawing 3 (b). In this case, if it shall be opened and closed when movable radiation field diaphragm 9B has a reticle stage 15 between a location Y0 and a location Y1 in a scanning direction (the direction of Y), it can be considered that the numerical aperture AR of movable radiation field diaphragm 9B is also the function of the location Y of a scanning direction.

[0050] Next, with reference to the flow chart of drawing 10 and drawing 11, it explains to a detail per example of the light exposure control action by the projection aligner of this example. First, with the wafer 14 for [of this example] exposure, according to the photoresist used, target light exposure (desired value of addition exposure energy) is set as the predetermined setting light exposure S0, and is stored in the exposure data file of a non-illustrated host computer.

[0051] Drawing 7 shows the wafer 14 for [that] exposure, and sets it to this drawing 7. The exposed field of the front face of a wafer 14 The direction of X, It is divided in the direction of Y to the shot field as a partition field of two or more rectangles in a predetermined pitch, respectively, and is [direction / of X / the] the shot field 31 (i, j) about the shot field of the j-th location (j=1-6) (i, j) to the direction of Y in the i-th (i=1-6). It expresses.

[0052] And the operator of the projection aligner of this example takes out the data of the setting light exposure S0 to a wafer, and makes storage section 26a of the exposure controller 26 memorize from the exposure data file of the host computer in step 101 of drawing 10. In the following step 102, transmission of the energy coarse adjustment unit 3 of drawing 1 is made into 100%, and in the condition of not laying the wafer for exposure on Z tilt stage 19, the exposure controller 26 sets the output (pulse energy) of the excimer laser 1 as the exposure light source as the median E0 (neutral value) of the adjustable range, and sets the numerical aperture AR of movable radiation field diaphragm 9B as 1 (100%) through the stage controller 17.

[0053] Then, in step 103, while the exposure controller 26 makes test luminescence of for example, several 10 pulse extent perform to an excimer laser 1, it incorporates the output DS of the integrator sensor 25 [digit] for every pulsed light, and computes average pulse energy [on the image surface (front face of a wafer) of projection optics 13] P [mJ/cm²] like a degree type from the output DS and the above-mentioned correlation coefficient $\alpha 1$.

[0054] $P = \alpha 1$ and DS -- (1)

In this case, the exposure controller 26 incorporates the output ES of energy monitor 1c as a sensor inside an excimer laser 1 [mJ/pulse] for every pulsed light, as shown in drawing 2, and it computes the correlation coefficient $\alpha 2$ for changing the output DS of the integrator sensor 25 into the output ES of energy monitor 1c ($\alpha 2 = ES/DS$). This correlation coefficient $\alpha 2$ is also memorized by storage section 26a. By this example, this correlation coefficient $\alpha 2$ is computed by test luminescence, whenever a switch of the permeability of an energy coarse adjustment unit 3 is performed.

[0055] In this case, since there is dispersion in energy for every pulsed light, the measurement data of outputs ES and DS are distributed along with the straight line 51 of drawing 8 (a). Finally let the average of the inverse number of the inclination of the straight line 51 for which it asked with the least square method, or the correlation coefficient $\alpha 2$ computed for every pulsed light be a correlation coefficient $\alpha 2$ there. If this correlation coefficient $\alpha 2$ is used, the exposure controller 26 can compute the output ES of energy monitor 1c from the output DS of the integrator sensor 25 like a degree type.

[0056] $ES = \alpha 2$ and DS -- (2)

Therefore, the output of an excimer laser 1 is controllable on the basis of the output DS of the

integrator sensor 25. Next, in step 104, the exposure controller 26 of drawing 1 computes exposure pulse number N per point on the wafer to the setting light exposure $S0$. That is, about Function round (x), supposing it is the function which rounds off the value of the 1st place below decimal point of Variable x , N is as follows.

[0057] $N = \text{round}(S0/P) \text{ -- (3)}$

Next, it sets to step 105 and the exposure pulse number N is the required light exposure control reproducibility AE . Minimum exposure pulse number N_{\min} beforehand defined in order to obtain It investigates whether it is above, and $N < N_{\min}$ it is -- what is necessary is for that just to make average pulse energy P on the image surface smaller than (3) types, although it is necessary to enlarge exposure pulse number N at a case Then, it is $N \geq N_{\min}$ among two or more steps of permeability which shifts to step 106 and can set up the exposure controller 26 with the energy coarse adjustment unit 3 of drawing 1. The largest value in the materialized range is chosen and the permeability of an energy coarse adjustment unit 3 is set as the value. It shifts to step 103 again after that, and actuation to steps 103-105 is repeated.

[0058] Consequently, the correlation coefficient $\alpha 2$ for converting the output DS of the integrator sensor 25 into the output ES of energy monitor 1c in the average pulse energy P on the image surface under the permeability after renewal of an energy coarse adjustment unit 3 and (2) types is updated. In this case, since the permeability of an energy coarse adjustment unit 3 is small, the relation between the output DS of the integrator sensor 25 and the output ES of energy monitor 1c becomes like the measurement data in alignment with the straight line 52 of drawing 8 (a), and a correlation coefficient $\alpha 2$ becomes large. That is, the correlation coefficient $\alpha 2$ is a function of the permeability of an energy coarse adjustment unit 3. And it is $N \geq N_{\min}$ at step 105. When materialized, the exposure controller 26 calculates the set point Pt of the energy per one pulse of an excimer laser 1 (value converted into the measurement value on the image surface) from the setting light exposure $S0$ from a degree type.

[0059] $Pt = S0/N \text{ -- (4)}$

If the above-mentioned correlation coefficients $\alpha 1$ and $\alpha 2$ are used, that set point Pt can be converted into the output DS in the integrator sensor 25 ($= Pt/\alpha 1$), and can convert the output DS of this integrator sensor 25 into the output (referred to as Et) of energy monitor 1c in an excimer laser 1 as follows further.

[0060] $Et = (\alpha 2/\alpha 1) Pt \text{ -- (5)}$

Next, actuation shifts to step 107 and an operator inputs into the exposure controller 26 the magnitude of lighting field 12R on the reticle 11 specified by fixed radiation field diaphragm 9A of drawing 1, as a result the magnitude of exposure field 12W on a wafer 14. As magnitude of exposure field 12W, the width of face Ws of the scanning direction (the direction of Y) and the width of face Wh of the non-scanning direction (the direction of X) are inputted. Furthermore, the width of face YS of the width of face 2 of the direction of X of each shot field on the wafer for exposure (each chip), XS , and the direction of Y is also inputted into the exposure controller 26. The magnitude of opening of the fixed radiation field diaphragm 9A is set up to the exposure field 12W. In this case, $Wh=2$, XS If it is materialized and the core (optical axis AX) which is exposure field 12W is made into the zero of the direction of X , the minimum of that direction of X of exposure field 12W will serve as $-XS$, and an upper limit will serve as $+XS$.

[0061] Next, in order to perform transmission measurement of a reticle 11, it shifts to step 108, and in drawing 1, X - Y stage 20 is driven and exposure field 12W of the whole are stored in the light sensing portion of exposure monitor 21B. And where a reticle 11 is beforehand removed from a reticle stage 15, the detecting signal PRF of exposure monitor 21B and the detecting signal DS of the integrator sensor 25 are incorporated, and it asks for the criteria permeability $Tstd (= PRF/DS)$ in case there is no reticle as a value of those ratios, and memorizes to storage section 26a. The criteria permeability $Tstd$ is memorized as a control parameter (constant) of every lighting conditions (usually lighting, zona-orbicularis lighting, deformation lighting, small sigma value lighting, etc.). The permeability which multiplies the criteria permeability $Tstd$ by the numerical aperture AR of movable radiation field diaphragm 9B of drawing 3 (b), and is obtained is expressed with the polygonal line 57 of drawing 3 (c). As for the polygonal line 57, maximum (value of a flat part) is changing to trapezoidal shape about the location Y of a scanning direction ($Y0 \leq Y \leq Y1$) by $Tstd$.

Moreover, since the width of face (slit width) of the scanning direction of exposure field 12W is W_s , the permeability is increasing or decreasing in the range of width of face W_s to locations Y_0 and Y_1 .

[0062] Next, lay a reticle 11 on a reticle stage 15, and movable radiation field diaphragm 9B is controlled like the time of exposure (closing motion). Drive a reticle stage 15 and a reticle 11 is scanned in the direction of Y to lighting field 12R. The detecting signal PRP of exposure monitor 21B and the detecting signal DS of the integrator sensor 25 are incorporated with a predetermined sampling rate by the exposure controller 26. The value ($=PRP/DS$) of the ratio of those detecting signals is memorized to storage section 26a as a function $Tmes(Y)$ of the location (reticle system of coordinates) of the direction of Y of a reticle stage 15. As the curve 56 of drawing 3 (c) shows, in a scanning zone ($Y_0 \leq Y \leq Y_1$), this function $Tmes(Y)$ is a value smaller than the criteria transmission $Tstd$, and is changing irregularly corresponding to distribution of the roughness and fineness of a device pattern. Next, in step 109, the exposure controller 26 computes exposure power-coefficient $\eta(Y)$ as a function of a location Y from a degree type.

[0063]

$$\eta(Y) = Tmes(Y)/Tstd \quad -- (6)$$

Next, it shifts to step 110 and the exposure controller 26 performs initial value measurement which is in charge of starting the tracking of permeability fluctuation. The measurement slit 28 currently formed on the reticle stage 15 like drawing 4 as an example of measurement is used. It moves on the optical axis AX of projection optics 13 at the core of this measurement slit 28, the core, i.e., this example, of lighting field 12R, and the exposure of the pulse illumination light IL is started, and as shown in drawing 5, image 28W of that measurement slit 28 are scanned in the direction of X (non-scanning direction) by 21Pa of light sensing portions of the shape of a pinhole on a wafer stage of illuminance unevenness sensor 21P. And, moving 21Pa of light sensing portions to a series of measure points set up in the direction of X at intervals of predetermined With the pulse number (N_m) which can acquire repeatability sufficient in each measure point, the detecting signal Ppin of illuminance unevenness sensor 21P And incorporate the detecting signal DS of the integrator sensor 25, and operation part 26b is supplied. In operation part 26b, it is a detecting signal Ppin at each measure point, respectively. And the average of the value ($= Ppin/DS$) of the ratio of DS is memorized as permeability $T1$ of the direction of X of exposure field 12W (X) (plot).

[0064] The permeability $T1(X)$ obtained by making drawing 6 such is shown, and the X coordinate of exposure field 12W and axis of ordinate to which the axis of abscissa was set are the permeability $T1$ of projection optics 13 the very thing (X) in this drawing 6 at the optical system except the reticle 11 in that X coordinate, i.e., the Lord. Although drawing 6 shows the case where made width of face of the non-scanning direction of exposure field 12W into max, and the range of X coordinate is set as $(-X_s + X_s)$, depending on the pattern for an imprint, the field of the non-scanning direction may turn into an inner $(-X_s + X_s)$ predetermined field.

[0065] Next, the average in the direction of X of that permeability $T1$ is calculated as an average transmission coefficient $\langle T \rangle$, and this average transmission coefficient $\langle T \rangle$ is memorized to storage section 26a. Next, the tracking of permeability prediction is started in step 111. Namely, rate-of-change ΔT of the permeability T of the optical system from the beam splitter 7 in t to a wafer 14] $T(t)$ is computed by operation part 26b by the following formulas at a certain time.

[0066]

$$\Delta T(t) = \Delta T(t - \Delta t) \cdot \exp(-\Delta t / \tau_a) + \text{calcium-W}(t) - [1 - \exp(-\Delta t / \tau_a)] \quad -- (7)$$

Moreover, when starting the tracking of (7) types, it is necessary using the above-mentioned average transmission coefficient $\langle T \rangle$ and the criteria permeability $Tstd$ to substitute the following formulas as initial value of rate-of-change $\Delta T(t)$.

[0067]

$$\Delta T(t - \Delta t) = \langle T \rangle / Tstd - 1 \quad -- (7A)$$

Here, the 1st term of (7) types is a relaxation term, the 2nd term is an exposure term, and the semantics of each variable is as follows.

1) $-\Delta t$: -- the sampling time. This is sufficiently small time amount compared with the actual exposure time, for example, is about several ms.

[0068] 2) taua : it is the time constant of transmission fluctuation and is the constant for which every exposure process (the class of reticle pattern, this kind of mixing ratio, a setup of fixed radiation field diaphragm 9A, lighting conditions, and pulse energy consistency at the time of exposure (particle fluence)) is asked beforehand.

3) calcium : it is the rate of change [%/W] of permeability, and is the constant for which it asks beforehand for every exposure process.

[0069] Furthermore, function [in the (7) type] (henceforth "exposure power") $W(t)$ can be expressed with a degree type.

[0070]

[Equation 1]

$$W(t) = \frac{\int_{t'-\Delta t}^{t-t} \{ \eta(Y) \cdot I(t') \cdot \alpha(t'-\Delta t) dt' \}}{\Delta t} \quad \dots (8)$$

[0071] Although exposure power-coefficient [in this formula] $\eta(Y)$ is the function of the location Y of a scanning direction, it can express a location Y with predetermined function $f(t)$ of t at the time after tracking initiation of permeability prediction. That is, the Y coordinate of a reticle stage 15 is read during scan exposure at every Δt , and from (6) types, $\eta(Y)$ can be calculated, this can be substituted for (8) types, and it can ask for exposure power $W(t)$. The parameter of others in the (8) type is defined as follows.

[0072] $I(t)$: The output of the integrator sensor [in / a time / t'] 25.

$\alpha(t' - \Delta t)$: The value of correlation coefficient $\alpha(t)$ into which only Δt divided the pulse energy in the image surface by the output of the integrator sensor 25 from time t' at the last time. And in operation part 26b, from (8) types, exposure power $W(t)$ is computed to every Δt , and rate-of-change ΔT [of permeability] $T(t)$ is computed by substituting this $W(t)$ for (7) types.

[0073] and the time of exposure -- every shot -- or whenever it does Δt progress of, correlation coefficient $\alpha(t)$ is updated. Namely, initial value α_0 of correlation coefficient $\alpha(t)$ measured in the state of the constant temperature which does not have the effect of the exposure heat by exposure light before rate-of-change $\Delta T(t)$ and exposure initiation of the permeability of (7) types It uses and the value of the following formulas is used as correlation coefficient $\alpha(t)$.

$\alpha(t) = (1 - \Delta T(t)) \cdot \alpha_0$ -- (9)

Next, exposure actuation shown in drawing 11 is performed. In down stream processing between wafers of step 121 of drawing 11 Namely, exchange of the wafer on Z tilt stage 19 of drawing 1, In the step 122 of measurement of the amount of base lines of a non-illustrated alignment sensor, and the wafer after exchange (it considers as a wafer 14) after performing alignment by the enhunger strike global alignment (EGA) method The shot field for [of a wafer 14] exposure (chip) is moved to a scan starting position, and it judges whether the elapsed time after measuring criteria permeability to the nonluminescent time amount of exposure light or a front in step 123 is below the predetermined time amount T_{nonf} (for example, 30s). And when the nonluminescent time amount or its elapsed time is larger than T_{nonf} , it shifts to step 130, and as shown in drawing 6 like step 110, the average permeability $\langle T \rangle$ as criteria permeability is measured. And a formula is substituted as initial value $\Delta T(t - \Delta t)$ of the rate of change of permeability (7A) like the actuation at the time of tracking initiation of the rate of change of the permeability in step 111 as reset processing. Then, actuation shifts to step 124.

[0074] On the other hand, when the nonluminescent time amount or its elapsed time is below T_{nonf} at step 123, it shifts to step 124 and rate-of-change ΔT [of the permeability of a just before / exposure initiation] $T(t)$ is made to reflect in the next shot exposure. namely, rate-of-change ΔT [of the permeability in this time t] $T(t)$ is computed by substituting rate-of-change $\Delta T(t - \Delta t)$ of the permeability calculated as reset processing or -- at the last time at (7) types. And correlation coefficient $\alpha(t)$ is computed by substituting this rate-of-change $\Delta T(t)$ for the above-mentioned (9) types.

[0075] Setting to the following step 125, the exposure controller 26 is the scan exposure conditions S_0 of degree shot on a wafer, i.e., setting light exposure, exposure pulse number N per point on a wafer, the luminescence frequency f of an excimer laser 1, the set point E_t of the target pulse energy in an excimer laser 1, the scan speed V of a wafer, and the set point T_{adj} of the permeability of an

energy coarse adjustment unit 3. It determines. In this case, the target pulse energy E_t while exposing the next shot field (chip) is expressed with a degree type using correlation coefficient [of the real time of the setting light exposure S_0 , exposure pulse number N per point on count, and (9) types] $\alpha(t)$.

[0076]

$$E_t = (S_0/N)/\alpha(t) \quad (10)$$

And if it shall expose by moving exposure field 12W along with a locus 30 to a wafer 14 relatively as shown in drawing 7 (a wafer 14 side moves in fact), scan exposure will be performed in order of the shot field 31 (2 1), 31 (3 1), and --. Then, the exposure controller 26 sets the scan exposure conditions over the shot field of the location (i, j) exposed next on a wafer 14 as an excimer laser 1 and the stage controller 17. Control of pulse energy is performed by comparing the target pulse energy E_t with actual measurement value E_t' by energy monitor 1c in the excimer laser 1 of drawing 2 for every pulse, and feeding back the difference to laser cavity 1a at the beginning under exposure.

[0077] Then, in step 126, pulse luminescence of an excimer laser 1 is started and scan exposure to the shot field concerned is performed by scanning a wafer 14 with a scan speed V to a scanning direction SD (the direction of Y) to exposure field 12W, as shown in drawing 7. Light exposure control in this case is performed as follows as an example. That is, the exposure controller 26 of drawing 1 resets the impulse counter which consists of a register of the interior for carrying out counting of the luminescence pulse number n before initiation of pulse luminescence of an excimer laser 1. Then, a reticle 11 and a wafer 14 synchronize, constant speed scanning comes to be carried out, respectively, and after the edge of the shot field for [on a wafer 14] exposure puts in exposure field 12W and reaches just before [this] (luminescence start point), an excimer laser 1 is made, as for the exposure controller 26, to start pulse luminescence. And the exposure controller 26 measures the pulse energy of each pulse illumination light IL through the integrator sensor 25 for every pulse luminescence.

[0078] At this example, an excimer laser 1 is $E_t - N_{min}$ whose same addition energy per pulse of the number as the minimum exposure pulse number (N_{min}) which arbitration follows is constant value to the pulse illumination light by which sequential luminescence is carried out. Pulse luminescence is performed by feedback control which becomes. For this reason, it is P_i about the pulse energy measured through the integrator sensor 25 when i pulse eye ($i = 0, 1$ and $2, \dots$) was made to emit light. It carries out. In addition, it is referred to as $P_0 = 0$. And pulse energy P_i measured by then It uses, and the exposure controller 26 computes the desired value of the pulse energy at the time of the next pulse luminescence as follows, and sets this desired value as an excimer laser 1.

[0079] In this case, as shown in drawing 9 (a), exposure of a pulse is performed to the point 55 on a wafer 14 until now ($n-1$), and the condition of waiting for exposure of n pulse eye is assumed. In drawing 9 (a), exposure field 12W of a rectangle make the scanning direction of the wafer [as opposed to / are expressing narrowly the width of face of a non-scanning direction (the direction of X) for convenience, and / exposure field 12W] 14 of explanation the direction of +Y. Moreover, the point 54-1 of the polygonal line of the continuous line of drawing 9 (b) - 54- ($n-1$) express the addition light exposure given as the point 55 moved to exposure field 12W, and the axis of abscissa supports the Y coordinate of the point 55 when each exposure pulse is irradiated in drawing 9 (b). Moreover, the straight line 53 of the dotted line of drawing 9 (b) expresses the target addition light exposure at the time of each pulse luminescence being performed, and it is the purpose of light exposure control to make the addition light exposure to a point 55 agree in the setting light exposure S_0 by exposure of N pulse eye in predetermined tolerance.

[0080] Pulse energy P_i measured by i pulse eye through the integrator sensor 25 at this time What is necessary is just to perform as follows target light exposure E_t of degree pulse for the point 55 of the waiting for exposure of n pulse eye (n) as the easiest control approach, if the value converted into the measurement value in energy monitor 1c is set to $E_i (= \alpha^2, P_i)$.

[0081]

[Equation 2]

$$\begin{aligned}
 E_t(n) &= E_t \cdot N_{m|n} - \sum_{i=n-(N_{m|n}-1)}^{n-1} E_i \\
 &= E_t - \sum_{i=n-(N_{m|n}-1)}^{n-1} (E_i - E_t) \quad \dots (11)
 \end{aligned}$$

[0082] The exposure controller 26 outputs the pulse energy $E_t(n)$ computed such for every luminescence of each pulsed light to an excimer laser 1, and an excimer laser 1 performs luminescence according to it. Moreover, after the exposure controller 26 adds 1 to the value n of an internal impulse counter for every pulse luminescence, it judges whether whether the shot field for exposure having passed exposure field 12W and a wafer 14 reached the point ending [exposure]. This can be judged from the positional information of each stage from the stage controller 17 etc. And when the point ending [exposure] is reached, processing of scan termination, i.e., a halt of pulse luminescence, is performed.

[0083] Furthermore, the exposure controller 26 computes the addition light exposure R_k ($k=1, 2, \dots$) on the image surface by integrating the pulse energy measured by the integrator sensor 25 about each point of the spacing Y_{step} of the shot field which exposure finished. Drawing 8 (b) is the addition light exposure R_k computed for each point of a shot field in this way. An example is shown and the axis of abscissa of this drawing 8 (b) shows the location Y of the scanning direction in a shot field. At this time, the exposure controller 26 is a series of addition light exposure R_k . The average R_{ave} , Maximum R_{max} , and the minimum value R_{min} It asks and they are these parameters R_{ave} , R_{max} , and R_{min} . It distinguishes whether a value is in tolerance, respectively, and a distinction result is outputted to a non-illustrated main control system. Then, it shifts to step 127 of drawing 11, and when there is a shot field exposed next on a wafer 14, it shifts to step 128, the next shot field is moved to a scan starting position, and exposure actuation of steps 123-127 is performed.

[0084] Then, it is confirmed whether when exposure of all shot fields is completed, it shifts to step 129 from step 127, and there is any unexposed wafer within the same lot. And when there is an unexposed wafer, actuation of steps 121-128 is repeated, and an exposure process is ended when the wafer exposed next is lost. After the wafer after this exposure passes through pattern formation processes, such as a development process and etching, a resist exfoliation process, etc. the number of predetermined times, a semiconductor device is manufactured by passing through processes, such as dicing, bonding, and packaging.

[0085] Thus, according to this example, rate-of-change $\Delta T(t)$ by the exposure of the pulse illumination light IL and exposure halt of the permeability of optical system from the beam splitter 7 including projection optics 13 to a wafer 14 was computed, and the pulse energy of an excimer laser 1 is amended using this rate of change. Therefore, even when changing the permeability of the quartz glass in the optical system in the short term, in each point in each shot field on a wafer 14, addition light exposure can be stored in tolerance to setting light exposure.

[0086] In addition, in step 111, if it asks for the rate of change calcium and time constant τ_{ua} which are used as a controlled parameter in first stage, after that, it cannot necessarily use continuously, and changing with the exposures to ** material on a mid- and long-term basis is confirmed by this invention person. Then, as for these controlled parameters, updating periodically is desirable. Furthermore, rate of change calcium and time constant τ_{ua} change in fact also depending on the pulse energy (particle fluence) in the image surface, exposure power-coefficient [of (6) types] η_a (Y), and permeability distribution of a reticle. Then, it is desirable for rate of change calcium and time constant τ_{ua} to also update light exposure control precision during exposure, in order to improve further. For that purpose, concretely, in step 103 of drawing 10, when the average pulse energy P in the image surface is computed, by operation part 26b, the rate of change calcium of time constant τ_{ua} of the permeability fluctuation till then and permeability is updated to new time constant τ_{ua}' and rate-of-change calcium' by the degree type. In addition, P_{std} is the image surface particle fluence measured when till then time constant τ_{ua} and data picking of rate of change calcium were performed, and the number k of **** is an integer or a half-integer.

[0087]

$$\tau_{ua}' = \tau_{ua} - \{(P_{std}/P) - (1/\eta_a(Y))\} k \quad \dots (12A)$$

$$\text{calcium}' = \text{calcium} - \{(P_{std}/P) - (1/\eta_a(Y))\} k \quad \dots (12B)$$

In this case, what is necessary is just to use taua' and calcium' instead of time constant taua in (7) types, and rate of change calcium, respectively. What is necessary is just to define it experimentally in fact, although the number k of **** is 1/2 (square root) as an example.

[0088] Moreover, if this is generalized, new time constant taua' and rate-of-change calcium' can be expressed as follows using the average pulse energy P in the image surface, and the functions g1 (P, eta (Y)) and g2 (P, eta (Y)) of exposure power-coefficient eta (Y).

taua'=taua-g1 (P, eta (Y)) -- (13A)

calcium'=calcium-g2 (P, eta (Y)) -- (13B)

Or new time constant taua' and new rate-of-change calcium' may be memorized as a table to the average pulse energy P and exposure power-coefficient eta (Y).

[0089] Furthermore, in the predictor control of the rate of change of the permeability described so far, the experiment of this invention person has shown that predictability falls immediately after processing between wafers. For example, predictability falls like location measurement of an alignment mark as processing between wafers at the time of the exposure to some shot fields immediately after [when nonluminescent time amount is comparatively long] carrying out time amount continuation. In consideration of such a case, in step 123, it shifted to step 130, criteria permeability was surveyed, the amount of fluctuation of the actual measurement was carried out like a formula (7A), and tracking is reset at the time of the exposure to a shot field immediately after nonluminescent time amount passes for a long time than predetermined time Tnonf by this example. The fall of the predictability of permeability can be prevented by this.

[0090] Next, it explains per other examples of the light exposure control action in step 126 of drawing 11. In this example, an excimer laser 1 performs pulse luminescence by feedback control to which the addition energy per predetermined unit pulse number becomes fixed. Namely, minimum exposure pulse number Nmin If time amount to which luminescence of small predetermined luminescence pulse number Nunit is carried out is made into the unit time amount Tunit (this changes with luminescence frequencies fk), an excimer laser 1 will perform Power Lok by the initial state so that the energy addition value measured by energy monitor 1c of the pulsed light outputted for every unit time amount Tunit may serve as Et-Nunit. However, there are dispersion of pulse energy and a possibility that the addition light exposure on a wafer may separate from the setting light exposure S0 by the drift, only now. Then, based on the measurement value of the integrator sensor 25, pulse energy which emits light by the excimer laser 1 next is adjusted so that a part for the error of pulse energy may be offset.

[0091] In this case, it is Pi about the pulse energy measured through the integrator sensor 25 when i pulse eye (i= 0, 1 and 2, --) was made to emit light. It carries out (P0 =0). And pulse energy Pi measured by then It uses, and the exposure controller 26 computes the desired value of the pulse energy at the time of the next pulse luminescence as follows, and sets this desired value as an excimer laser 1.

[0092] Also in this case, as shown in drawing 9 (a), exposure of a pulse is performed to the point 55 on a wafer 14 until now (n-1), and the condition of having exposure of n pulse eye is assumed. Control of the pulse energy in this case is performed considering the luminescence pulse number of a Nunit individual as a unit. Moreover, the point 54-1 of the polygonal line of the continuous line of drawing 9 (b) - 54- (n-1) The addition light exposure given as the point 55 moved to exposure field 12W is expressed. The straight line 53 of a dotted line The target addition light exposure at the time of each pulse luminescence being performed is expressed, and it is the purpose of light exposure control to make the addition light exposure to a point 55 agree in the setting light exposure S0 by exposure of N pulse eye in predetermined tolerance.

[0093] In this case, pulse energy Pi measured by i pulse eye through the integrator sensor 25 If the value converted into the measurement value in energy monitor 1c is set to Ei (= alpha 2, Pi), they are predetermined **** (weight) WA and WB about the target light exposure Et of degree pulse for the point 55 of the waiting for exposure of n pulse eye (n). It is performed as follows using [a non-dimension].

[0094]

[Equation 3]

$$E_t(n) = E_t - W_A (E_{n-1} - E_t) - W_B \sum_{i=n-1-Nunit}^{n-1} (E_i - E_t) \quad \dots (14)$$

[0095] Setting at this (14) ceremony, the 2nd term of the right-hand side is **** WA to the error (En-1-Et) of the last pulse energy. It is the error offset term of a pulse just before being taken advantaging and obtained, and the 3rd term of the right-hand side is **** WB to the integral value of the error of the pulse energy for a Nunit pulse before that. It is the error offset term multiplied by which and acquired. That is, this example is performing control which approaches Et whose following pulse energy is desired value as much as possible based on the error of the last pulse energy, and the error of the pulse energy for a Nunit pulse before that, and they are two **** WA and WB. Control precision can be optimized with a ratio. The exposure controller 26 outputs the pulse energy Et (n) computed such for every luminescence of each pulsed light to an excimer laser 1, and an excimer laser 1 performs luminescence according to it. Next actuation is the same as that of the gestalt of the above-mentioned operation.

[0096] Next, recently, the so-called double exposure method which uses two different lighting conditions by turns, exposes a reticle different, respectively, and exposes each shot field on a wafer (each chip) is used. In applying this double exposure method to the gestalt of the above-mentioned operation, at the head of processing of one lot, initial value measurement of the control parameter (controlled parameter) of steps 107-110 is performed for every lighting conditions, and it memorizes to storage section 26a. And the tracking of rate-of-change $\Delta T(t)$ of the permeability of optical system shall be performed using the formula of the following which considered to time amount that the amount of fluctuation was linearity instead of (7) types.

[0097] under the present circumstances, the lighting conditions before are alike and not being under use -- the lighting conditions of eye watch (i-1), and the present lighting conditions in use -- as the i-th lighting conditions -- the rate of change calcium in the i-th lighting conditions -- Cai and time constant τ_{ai} -- τ_{ai}^{**} -- if it carries out, it can treat as linear system like the following formulas.

$$\Delta T(t) = \{\Delta T(t-t^{**}), \exp(-\Delta t/\tau_{ai-1}) + C_{ai-1}, 0, \text{ and } \{1 - \exp(-\Delta t/\tau_{ai-1})\} + \{-- \Delta T(t-t^{**}) \text{ and } \exp(-\Delta t/\tau_{ai}) + C_{ai} W[-](t) - \{1 - \exp(-\Delta t/\tau_{ai})\}\}$$

$$= \{-- \Delta T(t-t^{**}) \text{ and } \exp(-\Delta t/\tau_{ai-1}) + -- \{-- \Delta T(t-t^{**}) \text{ and } \exp(-\Delta t/\tau_{ai}) + C_{ai} W[-](t) - \{1 - \exp(-\Delta t/\tau_{ai})\}\} \quad (15)$$

At this time, further, on the pupil surface (optical Fourier transform side over a reticle 11) of the projection optics 13 of drawing 1, even if zero-order light uses (15) types in the double exposure in a noninterfering combination of two lighting conditions (for example, zona-orbicularis lighting and lighting of a small sigma value), the experiment has shown that predictability falls. For this reason, whenever it switches the lighting conditions in the case of double exposure, permeability measurement for a check is performed, and it may be made to reset initial value. It is desirable even for this not to reach level predetermined in the predictability in each shot field in a wafer, and to perform permeability measurement for a check in this case, also before the exposure to each shot field in a wafer. Needed measurement frequency is expressed with the function of Tc and WPRES when average exposure power in Tc and current lighting conditions is set to WPRES for the time amount which the change took.

[0098] Moreover, in the gestalt of the above-mentioned operation, when permeability distribution of the non-scanning direction (the direction of X) of optical system is measured like drawing 6 and change of the dispersion, i.e., illuminance unevenness, exceeds predetermined tolerance, dispersion in the addition light exposure in each point on a wafer becomes large, and there is a possibility that the part to which addition light exposure is not settled in tolerance to desired value may arise. Then, it is made not to expose until it suspends the exposure of exposure light and the transmission equalizes by the relaxation effect, or a reticle is removed, and he irradiates exposure light uniformly at projection optics 13, and is trying to equalize transmission distribution in this example in such a case. By this, it can prevent that the error of addition light exposure exceeds tolerance.

[0099] Moreover, in order to compute the quantity of light which passes the optical system more correctly, you may make it also take into consideration the quantity of light measured with the amount monitor 60 of reflection of drawing 1, although the quantity of light which passes the optical system which includes projection optics 13 using the integrator sensor 25 is computed with the gestalt of the above-mentioned operation. In addition, although the rate of change of the permeability resulting from permeability fluctuation of quartz glass is predicted with the gestalt of the above-

mentioned operation, when wavelength uses pulsed light 170nm or less, and uses fluorite, magnesium fluoride (MgF₂), etc. as a refraction member, for example as an exposure light, and the rate of change of permeability influences light exposure, the control precision of light exposure can be improved by applying the control approach of the light exposure of this invention. Furthermore, this invention can be applied also when changing the reflection factor of reflective members, such as a mirror.

[0100] Moreover, the gestalt of the above-mentioned operation applies this invention, when exposing with the projection aligner of the scan exposure method which consists of step - and a - scanning method, but also when exposing with the aligner of an one-shot exposure mold (quiescence exposure mold) like a stepper, it can apply this invention. Thus, this invention is not limited to the gestalt of above-mentioned operation, but can take configurations various in the range which does not deviate from the summary of this invention.

[0101]

[Effect of the Invention] Even when an optical member to which permeability and a reflection factor are gradually changed in the optical system from the measure point of the quantity of light of an exposure beam to the 2nd body is used according to this invention, high light exposure control precision is acquired on the body for exposure (the 2nd body, such as a wafer). Moreover, according to this invention, when exposing using pulsed light, even if it changes gradually the permeability (permeability of the whole also including a reflection factor) of optical system, high light exposure control precision is acquired on the body for exposure.

[0102] Moreover, since high light exposure control precision is acquired when this invention is applied to the device manufacture approach, the highly efficient device excellent in line breadth precision etc. can be mass-produced.

[Translation done.]

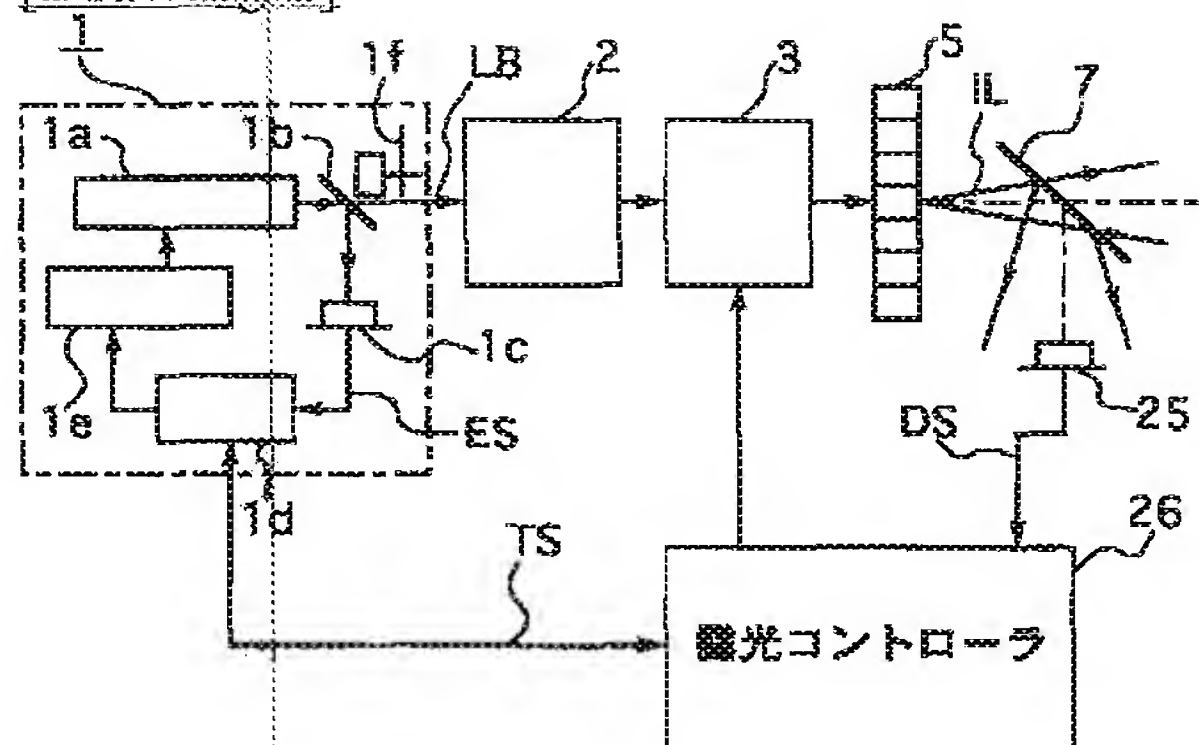
* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

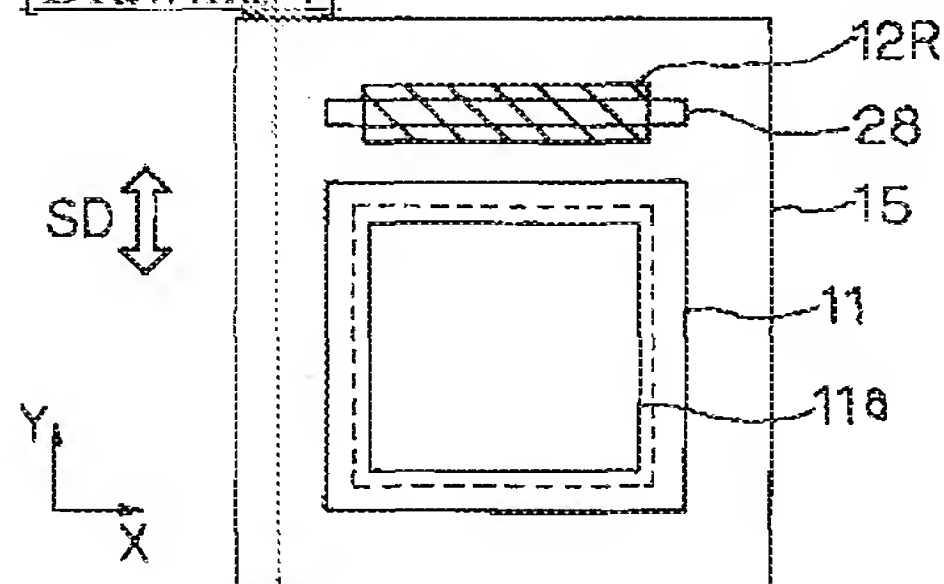
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

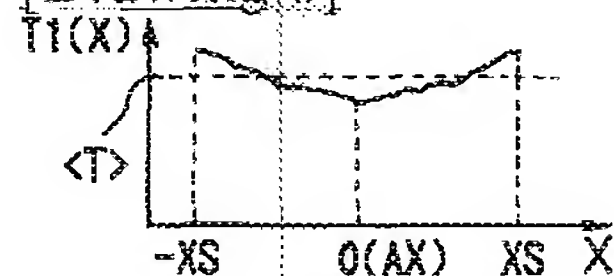
[Drawing 2]



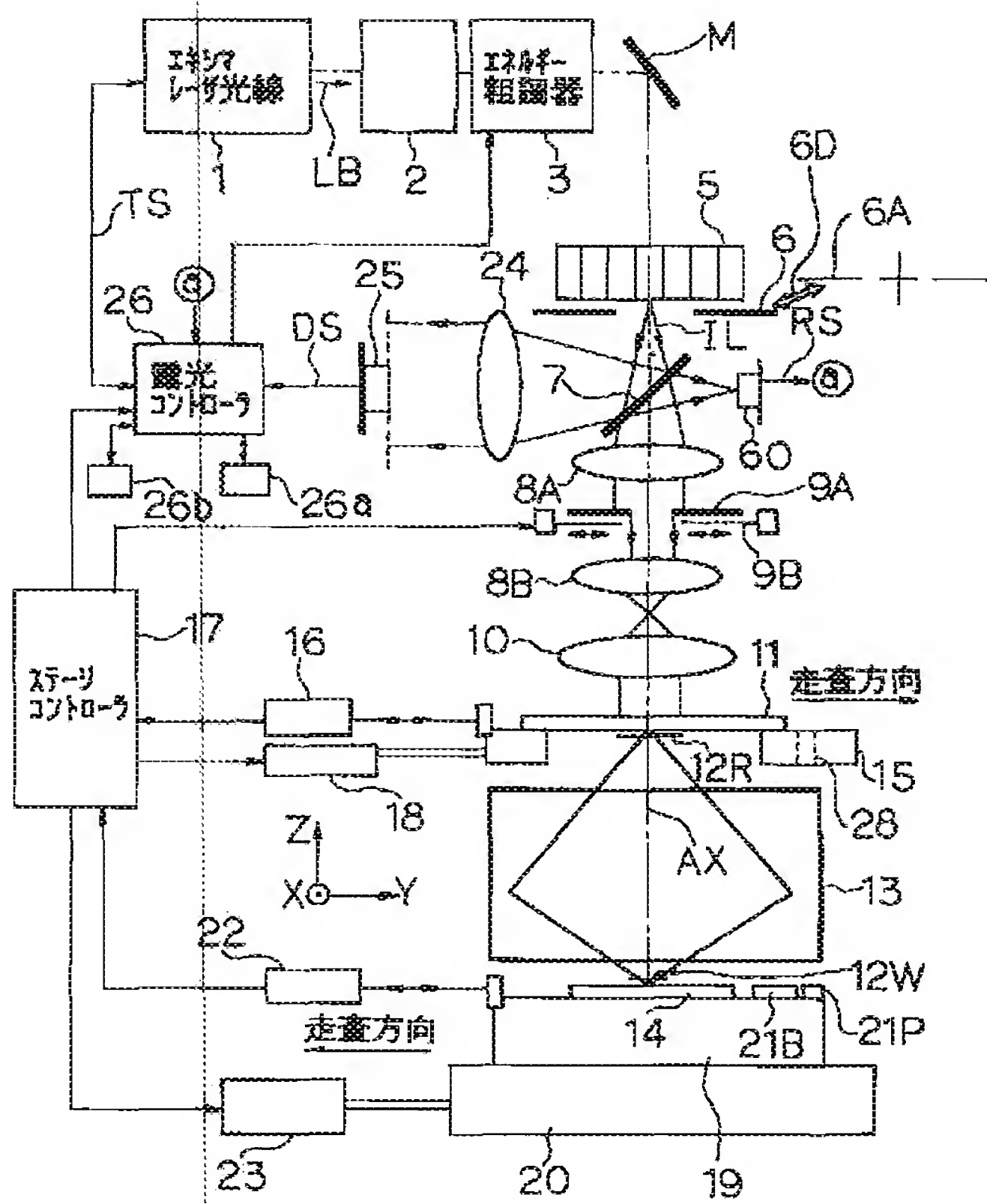
[Drawing 4]



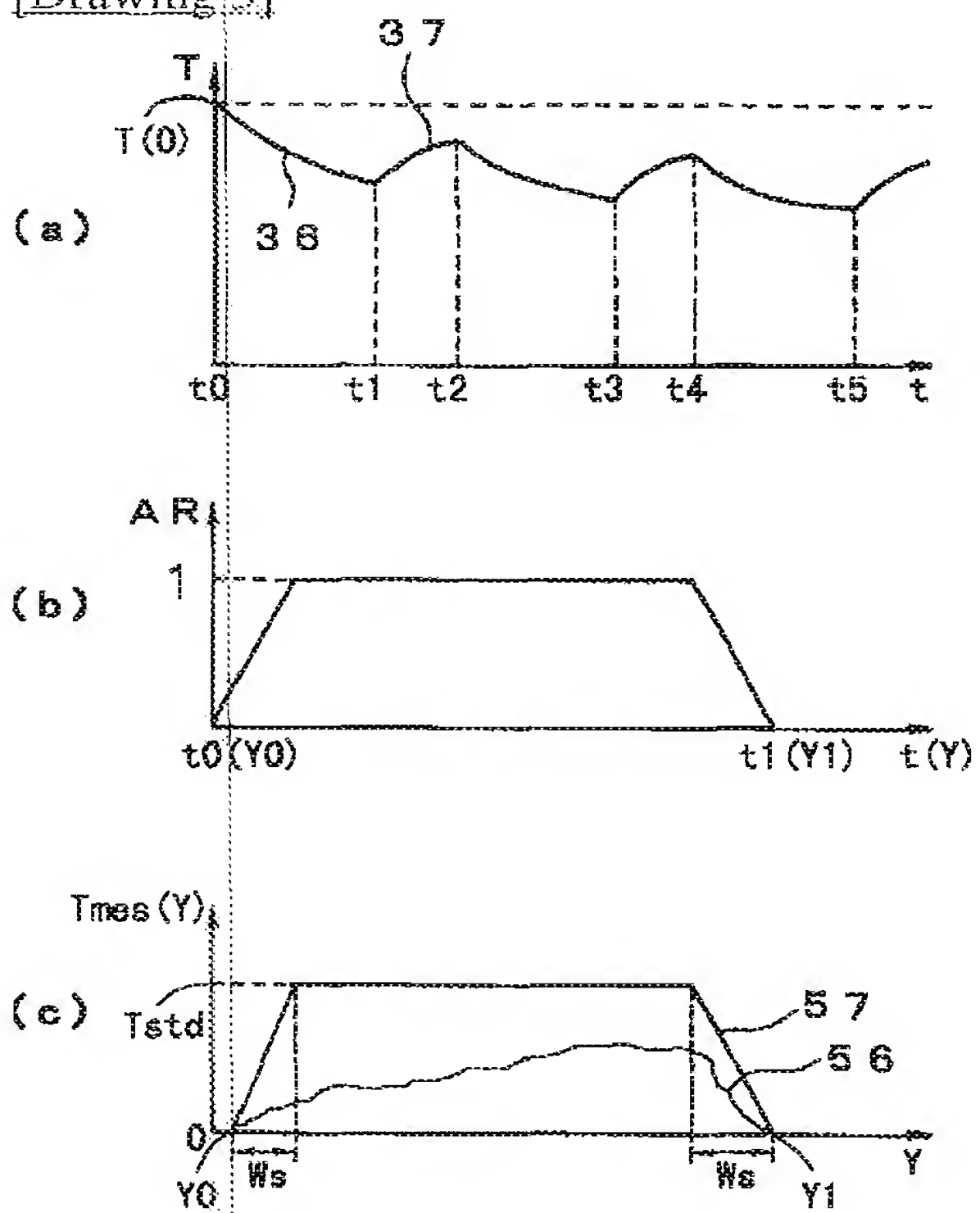
[Drawing 6]



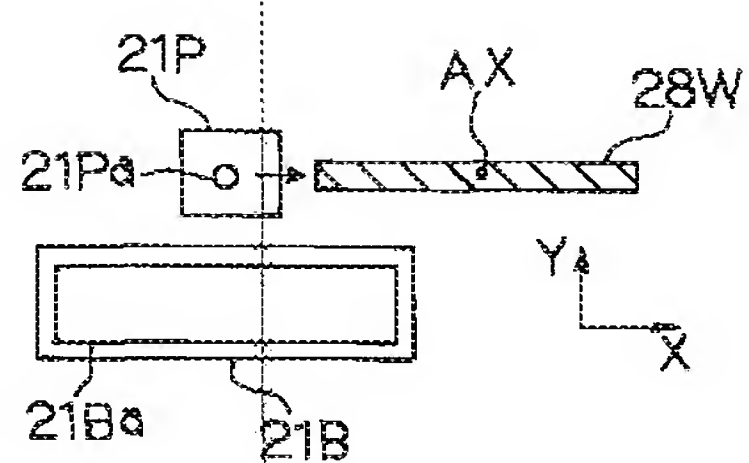
[Drawing 1]



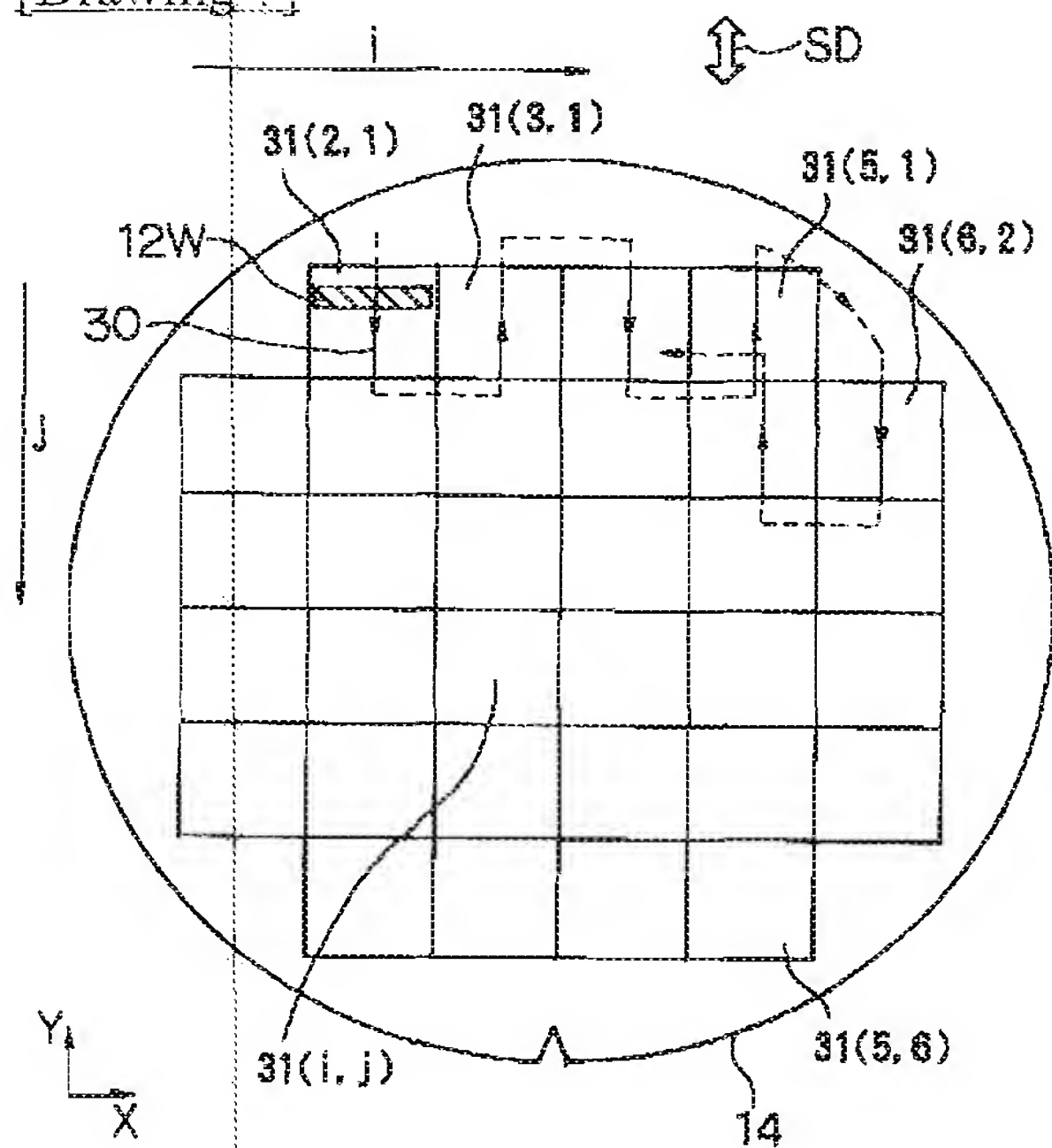
[Drawing 3]



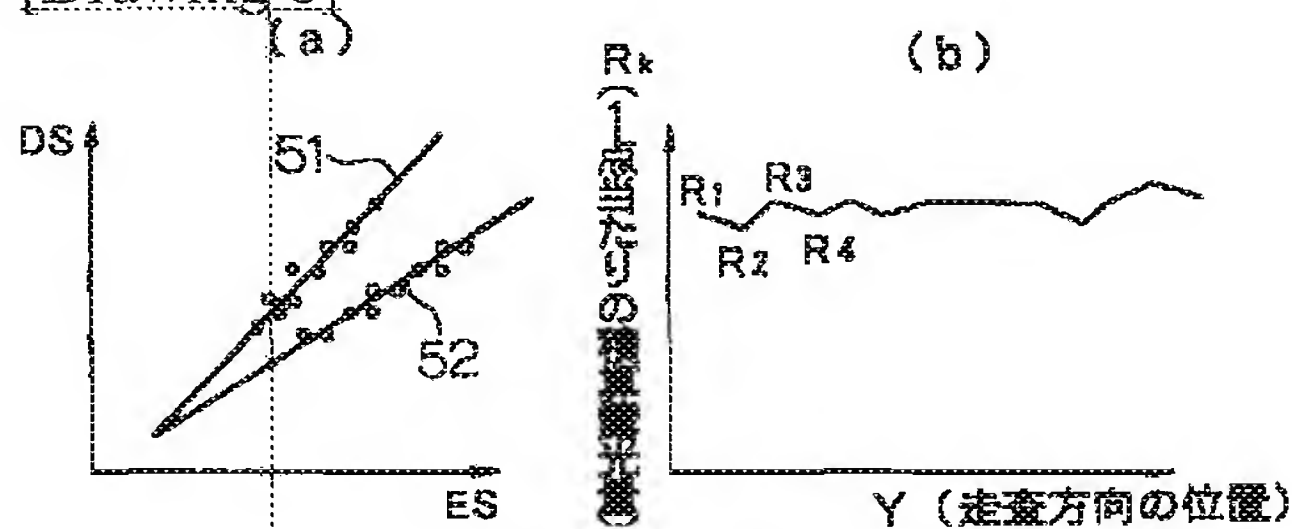
[Drawing 5]



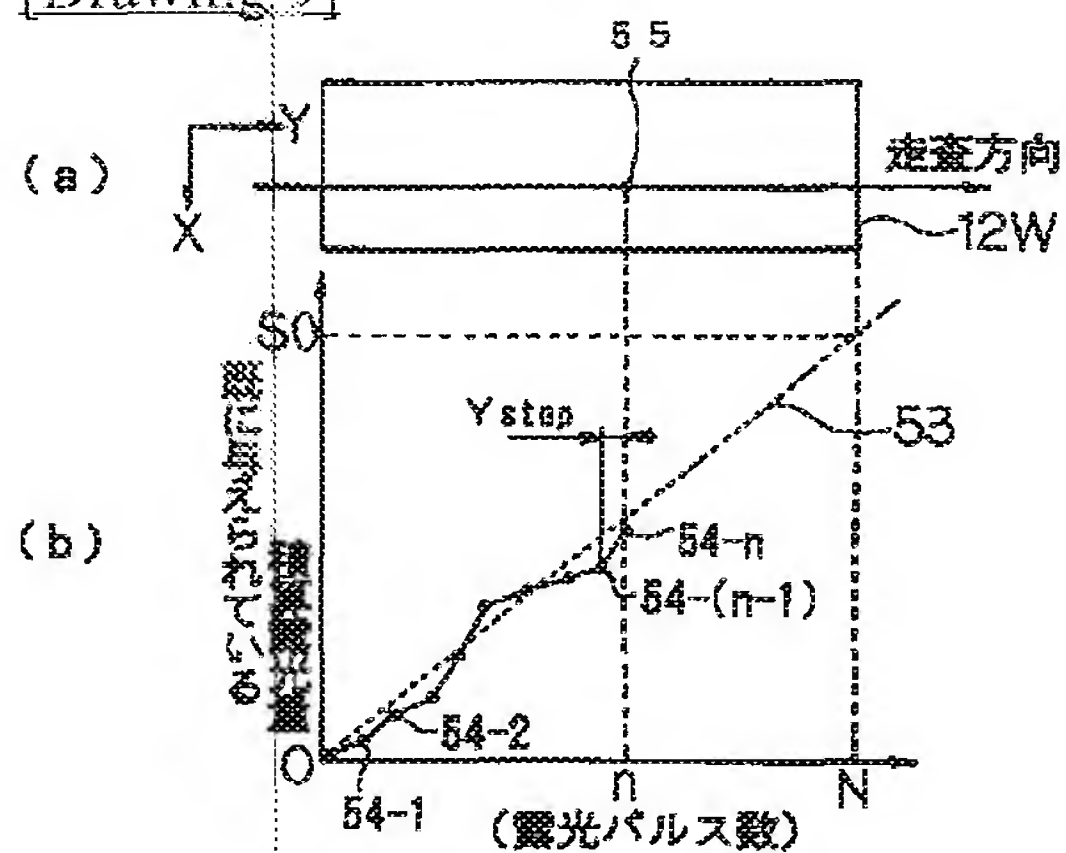
[Drawing 7]



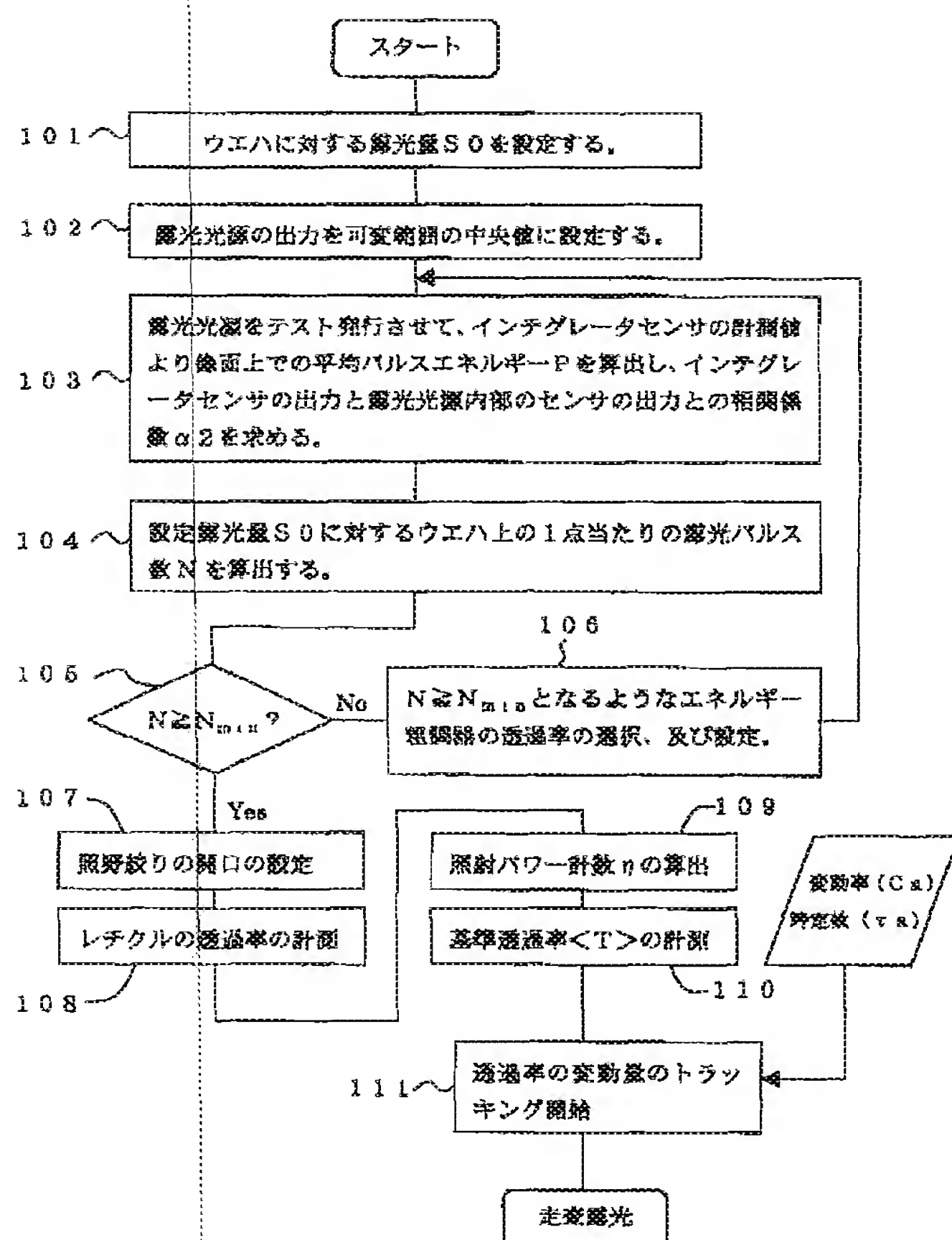
[Drawing 8]



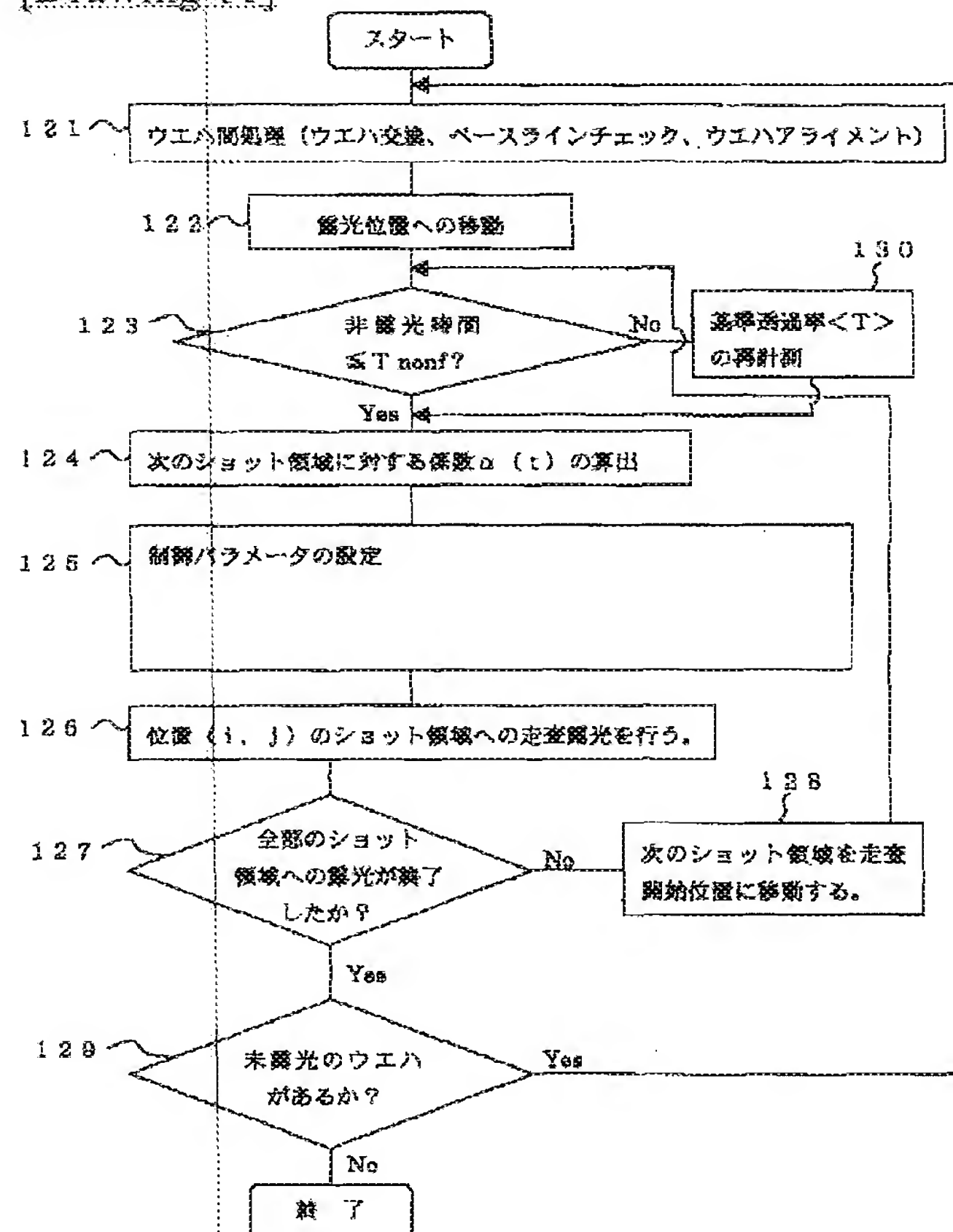
[Drawing 9]



[Drawing 10]



[Drawing 11]



[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-267239

(P2001-267239A)

(43)公開日 平成13年9月28日(2001.9.28)

(51)Int.Cl.

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 L 21/027

G 0 3 F 7/20

5 0 2

2 H 0 9 7

G 0 3 F 7/20

5 0 2

7/22

H

5 F 0 4 6

7/22

H 0 1 L 21/30

5 1 6 D

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 17 頁)

(21)出願番号

特願2000-178982(P2000-178982)

(22)出願日

平成12年6月14日(2000.6.14)

(31)優先権主張番号

特願2000-10207(P2000-10207)

(32)優先日

平成12年1月14日(2000.1.14)

(33)優先権主張国

日本(J P)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 小澤 謙

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74)代理人 100098165

弁理士 大森 聡

Fターム(参考) 2H097 BB01 CA13 GB01 LA10 LA12

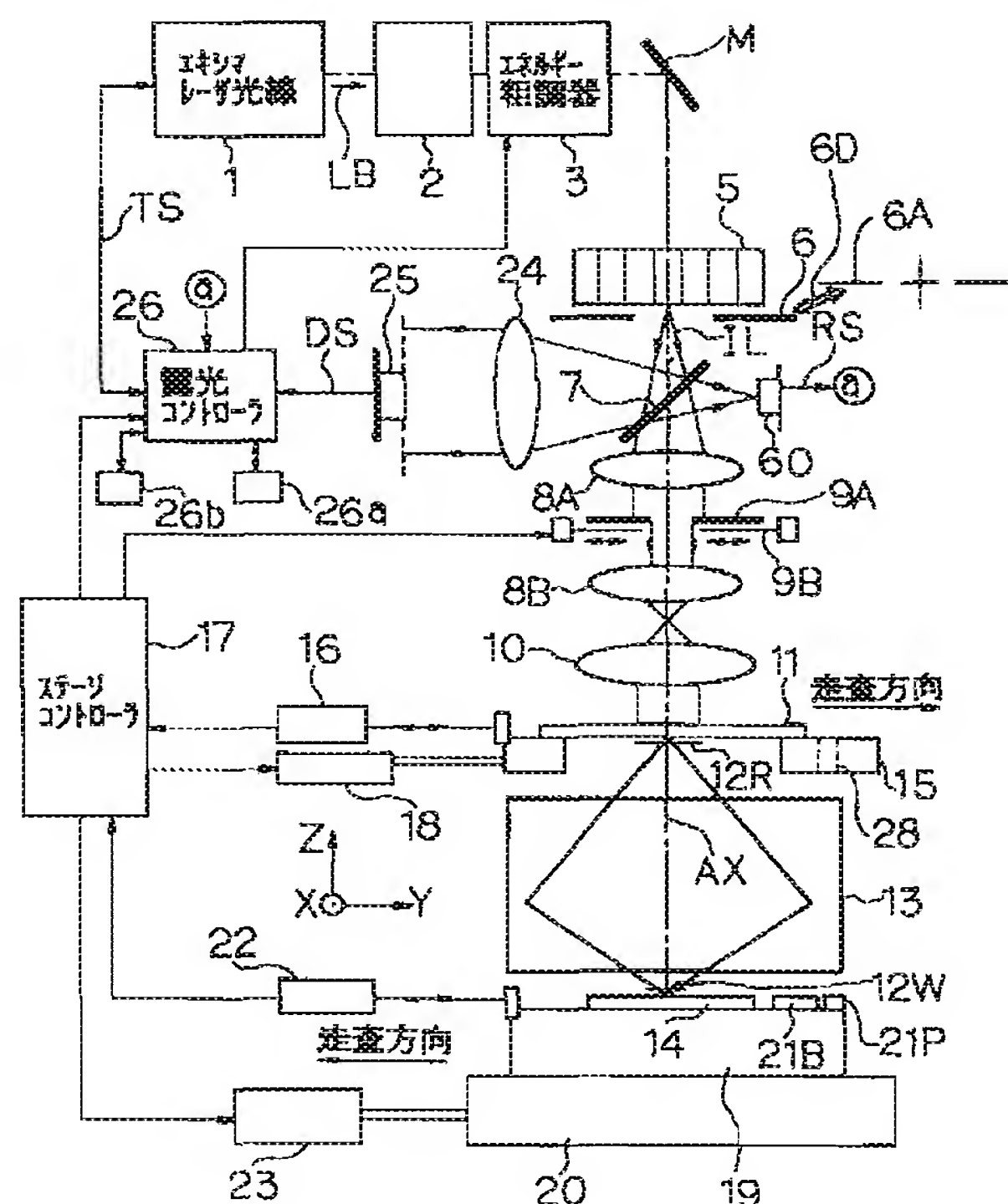
5F046 BA05 DA02 DB01 DC02 DC10

(54)【発明の名称】 露光方法及び装置、並びにデバイス製造方法

(57)【要約】

【課題】 光学系中に透過率や反射率が次第に変動する光学部材が使用されている場合に、露光対象の物体(ウエハ等)上で高い露光量制御精度を得る。

【解決手段】 露光ビームとしてのパルス照明光ILでレチクル11、及び投影光学系13を介してウエハ14を露光する露光方法において、予めそのレチクル11までの光路上のビームスプリッタ7を介して検出されるその照明光の光量とそのウエハ14上での光量との相関関係を求めておく。露光時にそのビームスプリッタ7を介して検出される光量とその相関関係とに基づいてそのウエハ14に対する積算露光量の制御を行うに際して、プロセス条件及び露光経過に応じてその投影光学系13の透過率の変動量を予測し、この予測された透過率の変動量に基づいてその相関関係を補正する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 露光ビームで第1物体を照明し、前記第1物体のパターンを経た前記露光ビームで投影系を介して第2物体を露光する露光方法において、
 予め前記第1物体までの光路上の計測点で検出される前記露光ビームの光量と前記投影系の像面上での前記露光ビームの光量との相関関係を求めておき、
 前記第2物体の露光時に前記計測点で検出される前記露光ビームの光量と前記相関関係とに基づいて前記第2物体に対する積算露光量の制御を行うに際して、
 プロセス条件及び露光経過に応じて前記投影系の透過率の変動量を予測し、該予測された透過率の変動量に基づいて前記相関関係の更新を行うことを特徴とする露光方法。

【請求項2】 前記露光ビームの波長は200～170nmであり、前記投影系は石英ガラスよりなる屈折部材を含むことを特徴とする請求項1に記載の露光方法。

【請求項3】 前記露光ビームはパルス光であり、前記プロセス条件は、前記第1物体の照明条件、前記第1物体上のパターンの種類、前記第1物体上の照明領域の形状、前記露光ビームのパルスエネルギー、及び前記投影系を構成する光学部材の材料の累積使用期間の内の少なくとも一つの条件であることを特徴とする請求項1又は2に記載の露光方法。

【請求項4】 前記露光経過は、前記露光ビームの発光時間、及び前記露光ビームの非発光時間の少なくとも一つのデータによって表されることを特徴とする請求項1、2、又は3に記載の露光方法。

【請求項5】 前記投影系の透過率の変動量を予測するための制御パラメータとして、前記露光ビームの照射時間に対する透過率の変動率、及び透過率の変動の時定数を用いると共に、
 前記制御パラメータを前記第1物体の照明条件毎に独立に保持することを特徴とする請求項1～4の何れか一項に記載の露光方法。

【請求項6】 前記露光ビームの非発光時間が所定時間を超えたときに、
 前記投影系の透過率の計測を行って、前記投影系の透過率の変動量の予測値をリセットすることを特徴とする請求項1～5の何れか一項に記載の露光方法。

【請求項7】 所定の時間が経過する毎に、前記投影系の前記露光ビームに対する透過率分布を計測し、該透過率分布のはらつきが所定の許容範囲を超えた場合に、
 前記露光ビームの照射を停止するか、又は照明領域の全体に前記露光ビームを照射することを特徴とする請求項1～5の何れか一項に記載の露光方法。

【請求項8】 露光ビームを発生する露光光源と、前記露光ビームを第1物体に照射する照明系と、前記第1物体のパターンを経た前記露光ビームを第2物体上に照射する投影系とを有する露光装置において、

前記照明系中の計測点で前記露光ビームの光量を検出する第1検出器と、
 前記投影系の像面上での前記露光ビームの光量を検出する第2検出器と、
 前記第1検出器の出力と前記第2検出器の出力との相関関係を記憶しておき、前記第1検出器の出力と前記相関関係とに基づいて前記第2物体に対する積算露光量の制御を行う露光量制御系と、
 プロセス条件及び露光経過に応じて前記投影系の透過率の変動量を予測し、該予測された透過率の変動量に基づいて前記相関関係の更新を行う予測制御系とを有することを特徴とする露光装置。

【請求項9】 前記照明系中に前記第1物体に対する照明条件を切り換える照明条件切り換え部材を設け、
 前記予測制御系は、前記照明条件に応じて前記投影系の透過率の変動量の予測値を算出することを特徴とする請求項8に記載の露光装置。

【請求項10】 前記投影系の像面で前記露光ビームの光量分布を計測する第3検出器を設け、
 該第3検出器で前記投影系の透過率分布を計測することを特徴とする請求項8又は9に記載の露光装置。

【請求項11】 請求項1～7の何れか一項に記載の露光方法を用いてマスクパターンをワークピースに転写する工程を含むデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子、撮像素子（CCD等）、液晶表示素子、プラズマディスプレイ素子、又は薄膜磁気ヘッド等のデバイスを製造するためのリソグラフィ工程中使用される露光方法及び装置に関し、特にパルス光源からの露光ビームを使用するステップ・アンド・スキャン方式等の走査露光型の投影露光装置で露光量制御を行う場合に使用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】従来より半導体素子等を製造する際に使用されている投影露光装置における1つの基本的な機能として、被露光基板としてのフォトリソグ（感光材料）が塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）の各ショット領域内の各点に対する積算露光量を適正範囲内に収めるための露光量制御機能がある。従来のステッパーのような一括露光型の投影露光装置での露光量制御としては、水銀ランプのような連続光源、又はエキシマレーザ光源のようなパルスレーザ光源の何れを使用する場合でも、基本的には照明光学系中の光電検出器よりなるインテグレータセンサを介して間接的に計測されるウエハ上での露光量の積算値が、所定の設定露光量（目標露光量）に対応する所定のクリティカルレベルを超えるまで露光を続けるというカットオフ制御が行われていた。また、露光光源としてパルスレーザ光源を用いる場合に

おいては、パルスレーザ光毎にエネルギーのばらつきを有するため、所定の最小露光パルス数以上の複数のパルスレーザ光で露光することにより、所望の露光量制御精度再現性を得ていた。

【0003】更に、近年使用されているステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の投影露光装置では、従来は単純に露光光（露光ビーム）としての各パルス光の光量を積算して露光量制御を行う方式（オープン露光量制御方式）が使用されていた。これに対して、最近、特開平6-252022号公報で開示されているように、ウェハ上で走査方向に対してスリット状の露光領域（照野フィールド）に含まれる領域に対する積算露光量をパルス光毎にリアルタイムで計測し、その積算露光量に基づいて次のパルス光の目標エネルギーを個別に算出して、各パルス光のエネルギーを制御する方式（パルス毎露光量制御方式）も提案されている。このパルス毎露光量制御方式では、オープン露光量制御方式よりも積算露光量のばらつきを小さくすることができると共に、一括露光型の投影露光装置にも適用することができる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】このように露光量制御を高精度に行うことによって、現像後の感光材料のパターン（レジストパターン）の寸法精度が向上し、露光光の波長（露光波長）や投影光学系の開口数等に応じて決定される限界解像度により近い解像度が得られる。その限界解像度を更に高めるために、露光波長自体の短波長化も進んでおり、近年ではKrFエキシマレーザ（波長248nm）の次世代の露光光源として、ArFエキシマレーザ（波長193nm）も使用されつつある。

【0005】このように波長が200nm程度以下の真空紫外域の露光光に対して、投影光学系を構成する屈折部材（レンズ等）の硝材として使用できる、実用的な透過率を持つ光学材料は現状では石英ガラス（合成石英）及び蛍石である。この中で、蛍石は高価であるため、できるだけ石英ガラスを多く使用することによって、投影光学系の製造コストを低く抑えることができる。

【0006】しかしながら、エキシマレーザ光はパルス光であり、石英ガラスのような光学材料に、真空紫外域の高エネルギーのパルス光を照射すると、その透過率が例えば数10秒程度のオーダーの時定数をもって変化するという現象が知られている。その現象は或る程度可逆的であり、そのパルス光の照射を中止すると、その光学材料の透過率は所定の時定数で初期値の方向に回復する。従って、そのパルス光を用いて、ウェハ上の全部のショット領域に対して順次露光を行う場合に、投影光学系の透過率が次第に変化して来る。

【0007】このように投影光学系の透過率が変化すると、上記のインテグレータセンサで検出される露光光の光量と、投影光学系の像面での光量との関係が変化するために、例えば露光前に計測した関係（インテグレータ

センサと像面との相関）と、インテグレータセンサの検出結果とに基づいて露光量制御を行うと、積算露光量の誤差が生じてしまう。そのため、より高い解像度を得るためにArFエキシマレーザ光を使用する投影露光装置において、目標とする解像度が得られなくなるという不都合がある。

【0008】同様に、照明光学系中で、インテグレータセンサからマスクとしてのレチクルまでの光学部材で透過率変動が生じる場合にも、露光量の制御精度が低下する。これに関して、石英ガラスにおける内部に含まれる成分中の水素イオン（H⁺）のドーピング量を制御することによって、その短期的な透過率の変動量を低減できることも知られている。しかしながら、このような石英ガラスでは、そのパルス光の長期間に亘る照射による特性の劣化（コンパクション）が大きくなる。そのため、照明光学系の内部のように、交換が比較的容易に行える箇所で使用することが可能ではあるが、投影光学系の内部のように交換が困難な箇所での使用は避けることが望ましい。その結果、特に投影光学系には短期的な透過率変動を伴う石英ガラスが使用される傾向があるため、そのような透過率変動があっても高い露光量制御精度が得られる露光方法及び露光装置の開発が望まれている。

【0009】また、透過率のみならず、例えば反射屈折系よりなる投影光学系中で、反射部材の反射率が短期的に変動するような場合にも、それに対処できる露光量制御が必要である。本発明は斯かる点に鑑み、光学系中に透過率や反射率が次第に変動するような光学部材が使用されている場合でも、露光対象の物体（ウェハ等）上で高い露光量制御精度が得られる露光方法を提供することを第1の目的とする。

【0010】また、本発明は、パルス光を用いて露光を行う場合に、光学系の透過率（反射率も含めた全体の透過率）が次第に変動しても、露光対象の物体上で高い露光量制御精度が得られる露光方法を提供することを第2の目的とする。また、本発明はそのような露光方法を使用できる露光装置、及びその露光方法を用いた高精度なデバイス製造方法を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の露光方法は、露光ビームで第1物体（11）を照明し、その第1物体のパターンを経たその露光ビームで投影系（13）を介して第2物体（14）を露光する露光方法において、予めその第1物体までの光路上の計測点（7）で検出されるその露光ビームの光量とその投影系の像面上でのその露光ビームの光量との相関関係を求めておき、その第2物体の露光時にその計測点で検出されるその露光ビームの光量とその相関関係とに基づいてその第2物体に対する積算露光量の制御を行うに際して、プロセス条件及び露光経過に応じてその投影系の透過率の変動量を予測し、該予測された透過率の変動量に基づいてその

10

20

30

40

50

相関関係の更新を行うものである。

【0012】斯かる本発明によれば、その相関関係として、例えばその計測点での光量からその像面での光量を求めるための係数を求めておくと共に、予めその投影系の透過率の変動率をプロセス条件及び露光経過の関数として求めておく。そして、露光中にその関数に基づいてその透過率の変動量を求め、その係数にその変動後の透過率を乗じることでその係数を補正できる。その計測点での光量の計測値にその補正後の係数を乗ずることで、その第2物体上での露光ビームの光量を間接的に求めることができ、その光量を積算して得られるその第2物体上での積算露光量が、目標露光量（設定露光量）になるように制御することで、高い露光量制御精度が得られる。

【0013】この場合、その投影系の空間的な透過率変動の平均値をもって、その係数の補正を行うことで、少ない計算量でその第2物体上の各区画領域（ショット領域）内での露光量の誤差を平均値に対して振り分けて最小にできる。なお、本発明では、透過率の変動量を予測する光学系として投影系を用いているが、第1物体を露光ビームで照射する照明系を備え、その照明系中の所定の計測点で露光ビームの光量を検出する場合には、その透過率の変動量を予測する光学系として、その計測点からその第1物体までの間に配置される照明系の一部の光学部材、及びその投影系を含めた光学系が用いられる。即ち、照明系中のその計測点からその第2物体までの間の光路に配置される光学部材が、その透過率の変動量を予測する光学系になる。

【0014】また、一例としてその露光ビームの波長は200～170nmであり、その投影系は石英ガラスよりなる屈折部材を含むものである。石英ガラスは、真空紫外域の光（特に高出力のパルス光）に対して透過率が短期的に変動する傾向があると共に、その透過率変動をS i - Xの結合の切断（変動）、及び再結合（緩和）による一般的な線形系として数学的にほぼ正確に扱うことができる。そこで、露光ビームが照射される露光中に起きている透過率の変動量と、その第2物体のステップ移動中や交換中に起きている透過率の緩和量とを予測計算することで、この予測値に基づいて露光量制御を高精度に行うことができるため、本発明のように透過率の変動量を予測する制御方法は特に有効である。

【0015】また、一例として、その露光ビームはパルス光であり、そのプロセス条件は、その第1物体の照明条件、その第1物体上のパターンの種類、その第1物体上の照明領域の大きさ（チップサイズ）その露光ビームのパルスエネルギー密度（フルエンス）、及びその投影系を構成する光学部材の材料の累積使用期間の内の少なくとも一つの条件であり、その露光経過は、その露光ビームの発光時間、及びその露光ビームの非発光時間の少なくとも一つのデータによって表されるものである。

【0016】例えばその第1物体上のパターンの種類によって、局所的にパターン密度に差があると、投影系中を通過する露光ビームの強度分布のばらつきによって透過率分布にもばらつきが生じ、その第2物体上の露光領域内での照度むらが変動する。この場合にも、そのパターンの種類に応じて透過率分布のむらを予測することによって、平均的に適正な露光量を得ることができる。

【0017】また、その投影系の透過率の変動量を予測するための制御パラメータとして、その露光ビームの照射パワーに対する透過率の変動率、及び透過率の変動の時定数を用いると共に、その制御パラメータをその第1物体の照明条件毎に独立に保持することが望ましい。照明条件毎に制御パラメータ（制御定数）を独立に保持することにより、どの照明条件でも良好な露光量補正が可能となる。

【0018】次に、本発明による第2の露光方法は、その第1の露光方法において、その露光ビームの非発光時間が所定時間を超えたときに、その投影系の透過率の計測を行って、その投影系の透過率の変動量の予測値をリセットするものである。斯かる本発明によれば、その第2物体の交換時やアライメント時のように、その第2物体のステップ移動時に比べて長い非照射時間があると、切断された上記の結合の再結合による緩和だけでなく、露光装置のチャンバ内や光路内の空間中に残留している汚染物質の光学系への付着等の予測困難な物理現象も無視できない量の透過率変動を引き起こす恐れがあるため、透過率の予測精度が低下する場合がある。このように透過率の予測精度が劣化するようなときは、確認のためにリアルタイムに投影系の透過率計測を行い、予測制御式に基づいた予測値を初期値にリセットしてやることで、露光量の制御精度が向上する。

【0019】また、長い非照射時間の後に、投影系の透過率計測を行い、透過率の予測精度が低下するような計測結果が得られた場合は、非照射時間の後にダミー照射を行い、光学系に付着した汚染物質を光洗浄するようにしてもよい。同様に、その第2物体上の各区画領域（ショット領域）を2種類のマスクパターンと2種類の照明条件とを用いて露光する、所謂二重露光のように異なる照明条件での露光を連続的に行う場合、直前の異なる照明条件による緩和現象とこれからの照明条件による変動現象とが混在したときも、予測精度が劣化する。このような場合にも、予測精度の劣化が所定のレベルを超えると判断したときは、露光を中断して確認のためのリアルタイムの透過率計測を行い、予測制御式をリセットすることで、露光量の制御精度が向上する。

【0020】更に、これらの制御パラメータ（制御定数）自体も露光ビームの長期の照射により次第に変動していくことが予想できる際には、これらの制御パラメータを定期的に計測して更新されるべき定数である更新可能な定数とすることが望ましい。これによって、長期に

亘って良好な露光量補正が可能となる。また、所定の時間が経過する毎に、その投影系のその露光ビームに対する透過率分布を計測し、該透過率分布のばらつきが所定の許容範囲を超えた場合に、その露光ビームの照射を停止してその投影系の透過率の変動を緩和させるか、又はその第1物体を取り外して照明領域の全体にその露光ビームを照射し、変動を緩和させることが望ましい。透過率分布のばらつきが大きくなり過ぎると、その第2物体上での露光量むらに許容範囲を超える恐れがあるため、このようなときに、その透過率を均一化させることで、露光量分布が均一化される。

【0021】次に、本発明の露光装置は、露光ビームを発生する露光光源(1)と、その露光ビームを第1物体(11)に照射する照明系(2, 3, M, 5, 8A, 8B, 10, 11)と、その第1物体のパターンを経たその露光ビームを第2物体(14)上に照射する投影系(13)とを有する露光装置において、その照明系中の計測点(7)でその露光ビームの光量を検出する第1検出器(25)と、その投影系の像面上でのその露光ビームの光量を検出する第2検出器(21B)と、その第1検出器の出力とその第2検出器の出力との相関関係を記憶しておき、その第1検出器の出力とその相関関係とに基づいてその第2物体に対する積算露光量の制御を行う露光量制御系(26)と、プロセス条件及び露光経過に応じてその投影系の透過率の変動量を予測し、該予測された透過率の変動量に基づいてその相関関係の更新を行う予測制御系(26b)とを有するものである。

【0022】斯かる露光装置によって、本発明の露光方法を使用できる。なお、本発明においては、投影系の透過率の変動量を予測しているが、その照明系中の計測点から第2物体までの光学系(照明系を構成する複数の光学部材の一部、及び投影系を含む)の透過率の変動量を予測してもよい。但し、透過率の変動量は、大部分が投影系の変動量に起因するため、その計測点から第2物体までの光学系の透過率の変動量を、実質的にその投影系の透過率の変動量とみなすことができる。この場合でも、その計測点からその投影系までの間に配置される光学部材(照明系の一部)の透過率の変動量が大きい場合には、それを考慮することは言うまでもない。

【0023】この場合、その照明系中にその第1物体に対する照明条件を切り換える照明条件切り換え部材(6, 6A, 6D)を設け、その予測制御系は、その照明条件に応じてその投影系の透過率の変動量の予測値を算出することが望ましい。また、その投影系の像面でその露光ビームの光量分布を計測する第3検出器(21P)を設け、この第3検出器でその投影系の透過率分布を計測することが望ましい。

【0024】次に、本発明のデバイス製造方法は、本発明の露光方法を用いてマスクパターンをワークピースに転写する工程を含むものである。本発明によればその第

1物体のパターンをデバイスのパターン、その第2物体をワークピース(ウエハ等の基板等)として露光を行うことによって、積算露光量が高精度に制御できるため、線幅精度等に優れた高精度のデバイスを量産することができる。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態の一例につき図面を参照して説明する。本例は、露光光源にパルス光源としてのエキシマレーザ光源を使用するステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置において、露光量制御を行う場合に本発明を適用したものである。

【0026】図1は本例の投影露光装置を示し、この図1において、露光光源としてのエキシマレーザ光源1からパルス発光された露光ビームとしてのレーザビームLBは、シリンダレンズやビームエキスパンダ等で構成されるビーム整形光学系2により、後続のオプティカル・インテグレータ(ユニフォマイザ、又はホモジナイザ)としてのフライアイレンズ5に効率よく入射するようにビームの断面形状が整形される。エキシマレーザ光源1としては、本例では波長200nm以下の真空紫外域のパルス光源であるArFエキシマレーザ光源(波長193nm)を使用する。また、エキシマレーザ光源1の代わりに、F₂レーザ(波長157nm)やKr₂レーザ(波長146nm)等のパルス発光型のレーザ光源を使用する場合にも本発明が適用できる。更に、露光光源として、金属蒸気レーザ光源やYAGレーザの高調波発生装置、又は半導体レーザをエルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)等の光ファイバ増幅器で増幅してから波長変換するレーザ光源等を使用する場合にも本発明が適用できる。

【0027】ビーム整形光学系2から射出されたレーザビームLBは、減光部材としてのエネルギー粗調器3に入射する。エネルギー粗調器3は、回転自在な2段のレボルバ上にそれぞれ透過率(=1-減光率)の異なる複数のNDフィルタを配置したものであり、そのレボルバを駆動モータで回転することにより、入射するレーザビームLBに対する透過率を100%から複数段階で切り換えることができるように構成されている。なお、そのエネルギー粗調器3を複数のNDフィルタを備えた1段のレボルバ、又は透過率の異なる複数のメッシュフィルタ等を備えた1段若しくは複数段のフィルタ交換部材より構成してもよい。

【0028】図1において、エネルギー粗調器3から射出されたレーザビームLBは、光路折り曲げ用のミラーMを介してオプティカル・インテグレータ(ユニフォマイザ、又はホモジナイザ)としてのフライアイレンズ5に入射する。フライアイレンズ5は、後段のマスクとしてのレチクル11を均一な照度分布で照明するために多数の2次光源を形成する。フライアイレンズ5の射出面には照明系の開口絞り(いわゆる「σ絞り」)6が配置

され、その開口絞り6には通常照明用の円形の開口が形成されている。本例では、駆動装置6Dによってその開口絞り6を輪帯状の開口が形成された輪帯照明用の開口絞り6A、複数の偏心した開口が形成された変形照明用の開口絞り（不図示）、及び小さい開口が形成された小さいコヒーレンスファクタ（ σ 値）用の開口絞り（不図示）等の内の任意の開口絞りと交換できるように構成されている。駆動装置6Dによって開口絞り6、6A等を切り換えることによって、レチクル11に対する照明条件を切り換えることができる。

【0029】なお、フライアイレンズ5の射出側の中央部を遮光する開口絞り6を配置することによって、レーザービームの総光量が減少してレチクル上での照度が大幅に低下する恐れもある。この場合には、エキシマレーザー光源1とフライアイレンズ5との間の光路間に、光量損失無しにレーザービームLBを輪帯状の光束に変換するために、円錐状の屈折面を持つ輪帯状光束変換部材を配置してもよい。

【0030】開口絞り6の開口中の多数の2次光源から射出されるレーザービーム（以下、「パルス照明光IL」と呼ぶ）は、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ7に入射し、ビームスプリッタ7を透過した露光ビームとしてのパルス照明光ILは、第1リレーレンズ8Aを経て固定照野絞り（固定レチクルブラインド）9Aの矩形の開口部を通過する。また、固定照野絞り9Aの近傍に、レチクル11の走査方向に対応する位置及び幅が可変の開口部を有する可動照野絞り9Bも配置され、走査露光の開始時及び終了時にその可動照野絞り9Bを介して照野フィールドを更に制限することによって、不要な部分への露光が防止されるように構成されている。この場合、可動照野絞り9Bは、レチクルのパターン面に対する共役面上に配置され、固定照野絞り9Aは、その共役面から僅かにデフォーカスした位置に配置されている。

【0031】固定照野絞り9A、及び可動照野絞り9Bを通過した露光ビームとしてのパルス照明光ILは、第2リレーレンズ8B、及びコンデンサレンズ10を経て、レチクルステージ15上に保持されたレチクル11上の矩形の照明領域12Rを均一な照度分布で照明する。レチクル11上の照明領域12R内のパターンを投影光学系13を介して投影倍率 M_{ry} （ M_{ry} は例えば $1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$ 等）で縮小した像が、被露光基板としてのフォトリソグが塗布されたウエハ（wafer）14上の矩形の露光領域（照野フィールド）12Wに投影露光される。ウエハ14は例えば半導体（シリコン等）又はSOI（silicon on insulator）等の円板状の基板である。レチクル11及びウエハ14がそれぞれ本発明の第1物体及び第2物体に対応し、投影光学系13が本発明の投影系に対応している。以下、投影光学系13の光軸AXに平行にZ軸を取り、その光軸AXに垂直な平面内

で照明領域12Rに対するレチクル11の走査方向（即ち、図1の紙面に平行な方向）をY方向、その走査方向に垂直な非走査方向をX方向として説明する。

【0032】このとき、レチクルステージ15は例えばリニアモータ方式のレチクルステージ駆動部18により不図示のレチクルベース上をY方向に等速移動（走査）すると共に、X方向、Y方向、回転方向に同期誤差を補正するように微動する。レチクルステージ15上に固定された移動鏡、及び外部のレーザ干渉計16により計測されるレチクルステージ15のX座標、Y座標、及び回転角がステージコントローラ17に供給され、ステージコントローラ17は供給された座標等に基づいてレチクルステージ駆動部18を介して、レチクルステージ15の位置及び速度を制御する。また、レチクルステージ15のレチクル11に対して走査方向にずれた位置に、非走査方向（X方向）に細長い開口よりなる計測スリット28（図4参照）が形成されている。本例では、後述のように計測スリット28を照明領域12Rに移動することによって、投影光学系13の透過率分布の計測を行う。

【0033】一方、ウエハ14は、不図示のウエハホルダを介してZチルトステージ（試料台）19上に載置され、Zチルトステージ19はXYステージ20上に載置されている。XYステージ20は、不図示のウエハベース上でX方向、Y方向にウエハ14のステップ移動を行うと共に、Y方向にウエハWを等速移動（走査）する。また、Zチルトステージ19は、ウエハ14のZ方向の位置（フォーカス位置）を調整すると共に、XY平面に対するウエハ14の傾斜角を調整する機能を有する。Zチルトステージ19上に固定された移動鏡、及び外部のレーザ干渉計22により計測されるXYステージ20のX座標、Y座標、及び回転角がステージコントローラ17に供給され、ステージコントローラ17は供給された座標等に基づいて、例えばリニアモータ方式のウエハステージ駆動部23を介してXYステージ20の位置、及び速度を制御する。Zチルトステージ19及びXYステージ20よりウエハステージが構成されている。

【0034】また、ステージコントローラ17の動作は、不図示の装置全体を統轄制御する主制御系によって制御されている。そして、走査露光時には、XYステージ20のステップ移動によってウエハ14上の露光対象のショット領域を走査開始位置に移動する動作と、レチクル11をレチクルステージ15を介して、照明領域12Rに対して+Y方向（又は-Y方向）に速度 V_r で走査するのに同期して、ウエハ14をXYステージ20を介して、露光領域12Wに対して-Y方向（又は+Y方向）に速度 $M_{\text{ry}} \cdot V_r$ （ M_{ry} はレチクル11からウエハ14に対する投影倍率）で走査する動作とが、ステップ・アンド・スキャン方式で繰り返される。これによってウエハ14上の全部のショット領域にレチクル11のパ

ターンの縮小像が転写される。なお、レチクル11とウエハ14との走査方向が逆であるのは投影光学系13が反転投影を行うからであり、投影光学系13が正立像を投影する場合にはレチクル11及びウエハ14の走査方向は同一になる。

【0035】また、Zチルトステージ19上のウエハ14の近傍に光電変換素子からなる照度むらセンサ21Pが常設され、照度むらセンサ21Pの受光面はウエハ14の表面と同じ高さに設定されて、ピンホール状の受光部21Pa（図5参照）が形成されている。更に、そのZチルトステージ19上にその露光領域12Wよりも広い受光部21Ba（図5参照）が形成された光電変換素子よりなる照射量モニタ21Bが常設されている。照射量モニタ21B及び照度むらセンサ21Pがそれぞれ本発明の第2検出器及び第3検出器に対応している。

【0036】照射量モニタ21B及び照度むらセンサ21Pとしては、パルス照明光ILと同じ波長域（例えば波長300nm〜100nm程度）で感度があり、且つパルス照明光を検出するために高い応答周波数を有するフォトダイオード、又はフォトマルチプライア等の光電変換素子を使用できる。照射量モニタ21B及び照度むらセンサ21Pの検出信号が不図示のピークホールド回路、及びアナログ／デジタル（A/D）変換器を介して露光コントローラ26に供給されている。

【0037】図1において、フライアイレンズ5から射出されて計測点としてのビームスプリッタ7で反射されたパルス照明光ILは、集光レンズ24を介して第1検出器としての光電変換素子よりなるインテグレートセンサ25で受光され、インテグレートセンサ25の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及びA/D変換器を介して出力DS[digit]として露光コントローラ26に供給される。インテグレートセンサ25の出力DSと、照射量モニタ21Bによって計測される投影光学系13の露光領域12W（像面）に対応するウエハ14の表面上でのパルス照明光ILの単位面積当たりのパルスエネルギー（露光量） $[mJ/cm^2]$ との相関係数 $\alpha 1$ は予め求められており、その相関係数 $\alpha 1$ は露光コントローラ26に接続された磁気ディスク装置等の記憶部26a内に格納されている。なお、投影光学系13の透過率がほぼ一定である場合には、例えば露光工程の開始時等に求めたその相関係数 $\alpha 1$ を露光中もそのまま使用すればよいが、本例では後述のように投影光学系13の透過率が短期的に変動する場合にも対処できるように露光量制御を行うため、その相関係数 $\alpha 1$ は変数（時間の関数）である。

【0038】露光コントローラ26は、ステージコントローラ17からのステージ系（レチクルステージ15及びウエハステージ（19, 20））の動作情報に同期して、制御情報TSをエキシマレーザ光源1に供給することによって、エキシマレーザ光源1の発光タイミング、

及び発光パワー等を制御する。更に、露光コントローラ26は、エネルギー粗調器3のNDフィルタを切り換えることによって透過率を制御し、ステージコントローラ17は、ステージ系の動作情報に同期して可動照野絞り9Bの開閉動作を制御する。

【0039】また、ビームスプリッタ7の裏面の反射面側で、照明光学系の瞳面と共役な位置に光電変換素子よりなる反射量モニタ60が配置されている。この構成では、ウエハ14で反射されたパルス照明光IL（反射光）は、投影光学系13から第2リレーレンズ8Aを介してビームスプリッタ7に戻り、ビームスプリッタ7で反射された光が反射量モニタ60に受光され、反射量モニタ60の検出信号RSが露光コントローラ26に供給されている。露光中には、インテグレートセンサ25の検出信号より投影光学系13に入射する光量（第1光量とする）がモニタされ、反射量モニタ60の検出信号よりウエハ14で反射されて投影光学系13を再び通過する光量（第2光量とする）がモニタできるため、その第1光量と第2光量とを加算することによって、その投影光学系13を通過する全体の光量がより正確にモニタできる。

【0040】また、その投影光学系13を通過する全体の光量の積分値に応じて、投影光学系13のディストーション（倍率誤差を含む）、及びベストフォーカス位置等の結像特性が経時的に変化する。そこで、予めその全体の光量の積分値と、その投影光学系13の結像特性の変化量との関係を求めて記憶部26aに記憶しておき、露光中に露光コントローラ26はそのインテグレートセンサ25、及び反射量モニタ60の検出結果より投影光学系13を通過する全体の光量の積分値を求め、この積分値より投影光学系13の結像特性の変化量を求める。そして、例えばその結像特性の変化量が許容範囲を超える恐れのある場合には、露光コントローラ26は、例えば不図示の結像特性補正装置（投影光学系13の一部のレンズを駆動する装置等）を介して投影光学系13の結像特性を補正するか、又はベストフォーカス位置の変動量に合わせてウエハ14のフォーカス位置を補正する。これによって、常に最適な結像特性で露光が行われる。

【0041】次に、本例の露光量制御系の構成につき図2を参照して説明する。図2は、図1の投影露光装置の露光量制御系を示し、この図2のエキシマレーザ光源1の内部において、レーザ共振器1aからパルス的に放出されたレーザビームは、透過率が高く僅かな反射率を有するビームスプリッタ1bに入射し、ビームスプリッタ1bを透過したレーザビームLBが外部に射出される。また、ビームスプリッタ1bで反射されたレーザビームが光電変換素子よりなるエネルギーモニタ1cに入射し、エネルギーモニタ1cからの光電変換信号が不図示のピークホールド回路を介して出力ESとしてエネルギーコントローラ1dに供給されている。エネルギーモニ

タ1cの出力ESに対応するエネルギーの制御量の単位は[mJ/pulse]である。通常の発光時には、エネルギーコントローラ1dは、エネルギーモニタ1cの出力ESが、露光コントローラ26より供給された制御情報TS中の1パルス当たりのエネルギーの目標値に対応した値となるように、高圧電源1e内の電源電圧を制御し、この電源電圧に応じてレーザ共振器1aにおける1パルス当たりのエネルギーが決定される。これによって、エキシマレーザ光源1から射出されるレーザビームLBの平均のパルスエネルギーが、露光コントローラ26で指示された値となる。

【0042】エキシマレーザ光源1の1パルス当たりのエネルギーは通常、所定の中心エネルギーE₀において安定化されているが、その中心エネルギーE₀の上下に所定範囲で変化(連続的な微調)できるように構成されている。また、エキシマレーザ光源1内のビームスプリッタ1bの外側には、露光コントローラ26からの制御情報に応じてレーザビームLBを遮光するためのシャッタ1fも配置されている。

【0043】更に、図2において、後述の相関係数の算出時、又は更新時には、エネルギーモニタ1cの出力ESに対応する処理量がエネルギーコントローラ1dを介して露光コントローラ26に供給され、露光コントローラ26では、エネルギーモニタ1cの出力ESに対応する処理量とインテグレートセンサ25の出力DSとの相関関係を求める。そして、走査露光時に露光コントローラ26は、所定の制御情報TSをエネルギーコントローラ1dに送って、エキシマレーザ光源1に実質的に一定周期でパルス発光を行わせ、各パルス照明光毎にインテグレートセンサ25からの出力DSを積算して、順次ウエハ14上の各点での実際の積算露光量を間接的に求める。そして、その各点が図1の露光領域12Wを通過した際の積算露光量がウエハ14上のフォトレジストに対する設定露光量(目標露光量)に所定の許容範囲(精度)で合致するように、露光コントローラ26は後述のようにエネルギー粗調器3における透過率の調整、及びエキシマレーザ光源1における1パルス当たりのエネルギーの微調整を行う。

【0044】さて、図1の本例の投影光学系13としては、石英ガラス(SiO₂)よりなる複数枚の屈折部材としてのレンズ、及び色収差補正用の1枚又は複数枚の蛍石(CaF₂)よりなるレンズを備えた結像系が使用されている。この際に、蛍石は高価であるため、その使用量は必要最低限に抑えられている。また、その石英ガラスとしては、水素イオン(H⁺)のドーピング量を制御して短期的な透過率変動量を小さくした材料ではなく、短期的な透過率変動の発生を許容して、長期的な透過率変動量(コンパクション)を小さくした材料が使用されている。これは投影光学系13中の光学部材は交換が容易ではないからである。

【0045】一方、ビームスプリッタ7からコンデンサレンズ10までの光学部材を含む照明光学系中の屈折部材(レンズ等)としても石英ガラス、及び必要に応じて蛍石が使用されているが、照明光学系中の屈折部材は交換が容易であるため、その石英ガラスの材料としては水素イオン(H⁺)のドーピング量を制御して短期的な透過率変動量を小さくした材料(長期的には次第に透過率が変動する材料)が使用されている。また、照明光学系中のビームスプリッタ7(計測点)からコンデンサレンズ10までに使用されている光学部材の枚数は投影光学系13中の光学部材の枚数に比べて少ないこともあって、照明光学系に関しては透過率の短期的な変動は殆ど問題にする必要は無い。

【0046】投影光学系13中に使用されている石英ガラスにおいては、シリコン原子(Si)とその周囲の原子やイオン(酸素(O)、シリコン(Si)等で、以下「X」で表す)との結合(Si-X)が、真空紫外域の強いパルス光の照射によって切断されて透過率が短期的に変動し(例えば低下する)、そのパルス光の照射が中断されると、その結合(Si-X)が再結合されて、短期的な緩和現象によって透過率が次第に元に戻ることが知られている。

【0047】そのため、図3(a)に示すように、時点t₀~t₁、t₂~t₃、t₄~t₅、...に一連のショット領域への露光(露光光の照射)を行い、その間の時点t₁~t₂、t₃~t₄、...にステップ移動(照射の中断)を行うものとして、本例のビームスプリッタ7からウエハ14までの光学系の透過率をTとすると、その透過率Tの変動量は大部分が投影光学系13の透過率変動に起因するため、その光学系の透過率Tを本発明の投影系の透過率とみなすことができる。その光学系(主に投影光学系13)の透過率T(初期値をT(0)とする)は、露光光の照射中には曲線36で示すように指数関数的に減少し、照射の中断中には曲線37で示すように指数関数的に増大することになる。そこで、本例では予め後述のようにその曲線36、37の時定数τ_a、及び変動率C_aを求めておき、露光中の時点tでは図1の露光コントローラ26に接続された演算部26bにおいて、その光学系の透過率Tの時点tにおける変動率δT(t)を算出し、これに基づいて露光コントローラ26が露光量制御を行う。

【0048】なお、図1の照明光学系中でビームスプリッタ7からコンデンサレンズ10までの屈折部材としても、短期的な透過率変動を認めて、長期的な透過率変動の少ない材料を使用してもよい。この場合にも、ビームスプリッタ7からウエハ14までの光学系の透過率Tを算出すればよい。この透過率Tに単位変換用の係数を乗じた値が上記の相関係数α₁になる。

【0049】上記の透過率の変動率δT(t)の算出に際しては、図1の可動照野絞り9Bによって規定される

開口率ARが必要となるが、その開口率ARは、図3

(b)に示すように、一つのショット領域への露光(露光光の照射)が行われる時点 $t_0 \sim t_1$ の間に、0と1(100%)との間で台形状に変化する。この場合、可動照野絞り9Bは、レチクルステージ15が走査方向(Y方向)で位置Y0と位置Y1との間にあるときに開閉されるものとする、可動照野絞り9Bの開口率ARは走査方向の位置Yの関数とも見なすことができる。

【0050】次に、本例の投影露光装置による露光量制御動作の一例につき図10及び図11のフローチャートを参照して詳細に説明する。先ず本例の露光対象のウエハ14では、使用されるフォトレジストに応じて目標露光量(積算露光エネルギーの目標値)が所定の設定露光量S0に設定されて、不図示のホストコンピュータの露光データファイルに格納される。

【0051】図7はその露光対象のウエハ14を示し、この図7において、ウエハ14の表面の被露光領域はX方向、Y方向にそれぞれ所定ピッチで複数の矩形の区画領域としてのショット領域に分割されており、そのX方向にi番目($i=1 \sim 6$)でY方向にj番目($j=1 \sim 6$)の位置(i, j)のショット領域をショット領域31(i, j)で表す。

【0052】そして、図10のステップ101において、本例の投影露光装置のオペレータは、そのホストコンピュータの露光データファイルより、ウエハに対する設定露光量S0のデータを取り出し、露光コントローラ26の記憶部26aに記憶させる。次のステップ102において、図1のエネルギー粗調器3の透過率を100%として、Zチルトステージ19上に露光対象のウエハを載置しない状態で、露光コントローラ26は、露光光源としてのエキシマレーザ光源1の出力(パルスエネルギー)を可変範囲の中央値E。(中立値)に設定し、ステージコントローラ17を介して可動照野絞り9Bの開口率ARを1(100%)に設定する。

【0053】続いてステップ103において、露光コントローラ26はエキシマレーザ光源1に例えば数10パルス程度のテスト発光を行わせると共に、各パルス光毎にインテグレータセンサ25の出力DS[digit]を取り込み、その出力DSと上記の相関係数 α_1 とから次式のように投影光学系13の像面(ウエハの表面)上での平均パルスエネルギーP[mJ/cm²]を算出する。

$$【0054】 P = \alpha_1 \cdot DS \quad \dots (1)$$

この際に、露光コントローラ26は、図2に示すように各パルス光毎にエキシマレーザ光源1の内部のセンサとしてのエネルギーモニタ1cの出力ES[mJ/pulse]を取り込み、インテグレータセンサ25の出力DSをエネルギーモニタ1cの出力ESに変換するための相関係数 α_2 を算出する($\alpha_2 = ES/DS$)。この相関係数 α_2 も記憶部26aに記憶される。この相関係数 α_2 は、本例ではエネルギー粗調器3の透過率の切り換え

が行われる毎に、テスト発光によって算出される。

【0055】この際に、各パルス光毎にエネルギーのばらつきがあるため、出力ES及びDSの計測データは図8(a)の直線51に沿って分布する。そこで、例えば最小自乗法によって求めたその直線51の傾きの逆数、又は各パルス光毎に算出される相関係数 α_2 の平均値を最終的に相関係数 α_2 とする。この相関係数 α_2 を用いると、露光コントローラ26は、次式のようにインテグレータセンサ25の出力DSからエネルギーモニタ1cの出力ESを算出することができる。

$$【0056】 ES = \alpha_2 \cdot DS \quad \dots (2)$$

従って、エキシマレーザ光源1の出力をインテグレータセンサ25の出力DSを基準として制御することができる。次に、ステップ104において、図1の露光コントローラ26は、設定露光量S0に対するウエハ上の1点当たりの露光パルス数Nを算出する。即ち、関数round(x)を変数xの小数点以下第1位の値の四捨五入を行う関数であるとする、Nは次のようになる。

$$【0057】 N = \text{round}(S0/P) \quad \dots (3)$$

次に、ステップ105において、その露光パルス数Nが、必要な露光量制御再現精度A_rを得るために予め定められている最小露光パルス数N_{min}以上であるかどうかを調べる。そして、 $N < N_{min}$ である場合には、露光パルス数Nを大きくする必要があるが、このためには

(3)式より像面上での平均パルスエネルギーPを小さくすればよい。そこで、ステップ106に移行して、露光コントローラ26は、図1のエネルギー粗調器3で設定できる複数段階の透過率の内で、 $N \geq N_{min}$ が成立する範囲で最も大きい値を選択し、エネルギー粗調器3の透過率をその値に設定する。その後に再びステップ103に移行して、ステップ103～105までの動作を繰り返す。

【0058】この結果、エネルギー粗調器3の更新後の透過率のもとでの像面上の平均パルスエネルギーP、及び(2)式においてインテグレータセンサ25の出力DSをエネルギーモニタ1cの出力ESに換算するための相関係数 α_2 が更新される。この場合、エネルギー粗調器3の透過率が小さくなっているため、インテグレータセンサ25の出力DSとエネルギーモニタ1cの出力ESとの関係は図8(a)の直線52に沿った計測データのようになり、相関係数 α_2 は大きくなる。即ち、その相関係数 α_2 はエネルギー粗調器3の透過率の関数である。そして、ステップ105で $N \geq N_{min}$ が成立するときに、露光コントローラ26は次式より、設定露光量S0に対してエキシマレーザ光源1の1パルス当たりのエネルギー(像面上での計測値に換算した値)の設定値Ptを求める。

$$【0059】 Pt = S0/N \quad \dots (4)$$

上記の相関係数 α_1 及び α_2 を用いると、その設定値Ptはインテグレータセンサ25での出力DS(=Pt/

$\alpha 1$) に換算でき、更にこのインテグレータセンサ 25 の出力 DS は、次のようにエキシマレーザ光源 1 内のエネルギーモニタ 1 c の出力 (E_t とする) に換算することができる。

$$【0060】 E_t = (\alpha 2 / \alpha 1) P_t \quad \cdots (5)$$

次に、動作はステップ 107 に移行して、オペレータは、図 1 の固定照野絞り 9 A によって規定されるレチクル 11 上の照明領域 12 R の大きさ、ひいてはウエハ 14 上の露光領域 12 W の大きさを露光コントローラ 26 に入力する。露光領域 12 W の大きさとして、その走査方向 (Y 方向) の幅 W_s 、及びその非走査方向 (X 方向) の幅 W_h が入力される。更に、露光対象のウエハ上の各ショット領域 (各チップ) の X 方向の幅 $2 \cdot X_S$ 、及び Y 方向の幅 Y_S も露光コントローラ 26 に入力される。その固定照野絞り 9 A の開口の大きさはその露光領域 12 W に対して設定される。この場合、 $W_h = 2 \cdot X_S$ が成立し、露光領域 12 W の中心 (光軸 AX) を X 方向の原点とすると、その露光領域 12 W の X 方向の下限は $-X_S$ 、上限は $+X_S$ となる。

【0061】次に、レチクル 11 の透過率計測を行うために、ステップ 108 に移行して、図 1 において、 XY ステージ 20 を駆動して露光領域 12 W の全体を照射量モニタ 21 B の受光部内に収める。そして、予めレチクル 11 をレチクルステージ 15 から外した状態で、照射量モニタ 21 B の検出信号 P_{ref} とインテグレータセンサ 25 の検出信号 DS とを取り込み、それらの比の値としてレチクルが無い場合の基準透過率 T_{std} ($= P_{ref} / DS$) を求めて、記憶部 26 a に記憶しておく。その基準透過率 T_{std} は照明条件 (通常照明、輪帯照明、変形照明、小 σ 値照明等) 毎の制御パラメータ (定数) として記憶されている。その基準透過率 T_{std} に、図 3 (b) の可動照野絞り 9 B の開口率 AR を乗じて得られる透過率が図 3 (c) の折れ線 57 で表される。折れ線 57 は最大値 (平坦部の値) が T_{std} で走査方向の位置 Y ($Y_0 \leq Y \leq Y_1$) に関して台形状に変化している。また、露光領域 12 W の走査方向の幅 (スリット幅) が W_s であるため、その透過率は位置 Y_0 及び Y_1 に対して幅 W_s の範囲で増加又は減少している。

【0062】次に、レチクル 11 をレチクルステージ 15 上に載置して、可動照野絞り 9 B を露光時と同様に制御 (開閉) し、レチクルステージ 15 を駆動してレチクル 11 を照明領域 12 R に対して Y 方向に走査し、露光コントローラ 26 で照射量モニタ 21 B の検出信号 P_{ref} とインテグレータセンサ 25 の検出信号 DS とを所定のサンプリングレートで取り込み、それらの検出信号の比の値 ($= P_{ref} / DS$) を、レチクルステージ 15 の Y 方

$$\delta T(t) = \delta T(t - \Delta t) \cdot \exp(-\Delta t / \tau_a) + C_a \cdot W(t) \cdot [1 - \exp(-\Delta t / \tau_a)] \quad \cdots (7)$$

また、(7) 式のトラッキングを開始するときには、上記の平均透過率 $\langle T \rangle$ 及び基準透過率 T_{std} を用い

* 向の位置 (レチクル座標系) の関数 $T_{mes}(Y)$ として記憶部 26 a に記憶する。この関数 $T_{mes}(Y)$ は、図 3 (c) の曲線 56 で示すように、走査範囲 ($Y_0 \leq Y \leq Y_1$) において、基準透過率 T_{std} よりも小さい値で、デバイスパターンの粗密の分布に対応して不規則に変化している。次に、ステップ 109 において、露光コントローラ 26 は次式より照射パワー係数 $\eta(Y)$ を位置 Y の関数として算出する。

【0063】

$$\eta(Y) = T_{mes}(Y) / T_{std} \quad \cdots (6)$$

次に、ステップ 110 に移行して露光コントローラ 26 は、透過率変動のトラッキングを開始するにあたっての初期値計測を行う。計測例としては、図 4 のようにレチクルステージ 15 上に形成されている計測スリット 28 を用いる。この計測スリット 28 の中心を照明領域 12 R の中心、即ち本例では投影光学系 13 の光軸 AX 上に移動し、パルス照明光 1 L の照射を開始して、図 5 に示すように、その計測スリット 28 の像 28 W をウエハステージ上の照度むらセンサ 21 P のピンホール状の受光部 21 P a で X 方向 (非走査方向) に走査する。そして、受光部 21 P a を X 方向に所定間隔で設定された一連の計測点に移動させながら、各計測点で十分な再現性を得られるようなパルス数 (N_m) で照度むらセンサ 21 P の検出信号 P_{pin} 、及びインテグレータセンサ 25 の検出信号 DS を取り込んで演算部 26 b に供給し、演算部 26 b では各計測点でそれぞれ検出信号 P_{pin} 及び DS の比の値 ($= P_{pin} / DS$) の平均値を、露光領域 12 W での X 方向の透過率 $T_1(X)$ として記憶 (プロット) する。

【0064】図 6 はそのようにして得られた透過率 $T_1(X)$ を示し、この図 6 において、横軸は設定された露光領域 12 W の X 座標、縦軸はその X 座標でのレチクル 11 を除いた光学系、即ち主に投影光学系 13 自体の透過率 $T_1(X)$ である。図 6 では、露光領域 12 W の非走査方向の幅を最大にして、 X 座標の範囲を ($-X_S \sim +X_S$) に設定した場合を示しているが、転写対象のパターンによっては、その非走査方向の領域は、($-X_S \sim +X_S$) 内の所定の領域となることもある。

【0065】次に、その透過率 T_1 の X 方向における平均値を平均透過率 $\langle T \rangle$ として求め、この平均透過率 $\langle T \rangle$ を記憶部 26 a に記憶する。次にステップ 111 において、透過率予測のトラッキングを開始する。即ち、或る時点 t でのビームスプリッタ 7 からウエハ 14 までの光学系の透過率 T の変動率 $\delta T(t)$ は、演算部 26 b によって以下の式で算出される。

【0066】

$$\delta T(t) = \delta T(t - \Delta t) \cdot \exp(-\Delta t / \tau_a) + C_a \cdot W(t) \cdot [1 - \exp(-\Delta t / \tau_a)] \quad \cdots (7)$$

て、変動率 $\delta T(t)$ の初期値として以下の式を代入する必要がある。

【0067】

$$\delta T(t - \Delta t) = \langle T \rangle / T_{std} - 1 \quad \dots (7A)$$

ここで、(7)式の第1項は緩和項、第2項は照射項であり、各変数の意味は以下の通りである。

1) Δt : サンプル時間。これは実際の露光時間と比べて十分小さい時間であり、例えば数ms程度である。

【0068】2) τ_a : 透過率変動の時定数であり、露光プロセス(レチクルパターンの種類、この種類の混合比、固定照野絞り9Aの設定、照明条件、及び露光時のパルスエネルギー密度(フルエンス))毎に予め求めて*

$$W(t) = \frac{\int_{t-\Delta t}^{t'} \{ \eta(Y) \cdot I(t') \cdot \alpha(t' - \Delta t) \} dt'}{\Delta t} \quad \dots (8)$$

【0071】この式中の照射パワー係数 $\eta(Y)$ は、走査方向の位置Yの関数であるが、位置Yは、透過率予測のトラッキング開始後の時点tの所定の関数 $f(t)$ で表すことができる。つまり、走査露光中にレチクルステージ15のY座標を Δt 毎に読み取り、(6)式より $\eta(Y)$ を計算し、これを(8)式に代入して照射パワー $W(t)$ を求めることができる。その(8)式中のその他のパラメータは以下のように定義される。

【0072】 $I(t')$: 時点 t' におけるインテグレータセンサ25の出力。

$\alpha(t' - \Delta t)$: 時点 t' から Δt だけ前の時点において、像面でのパルスエネルギーをインテグレータセンサ25の出力で割った相関係数 $\alpha(t)$ の値。そして、演算部26bでは(8)式より Δt おきに照射パワー $W(t)$ を算出し、この $W(t)$ を(7)式に代入して透過率の変動率 $\delta T(t)$ を算出する。

【0073】そして、露光時は、ショット毎、又は Δt 経過する毎に、相関係数 $\alpha(t)$ の更新を行う。即ち、(7)式の透過率の変動率 $\delta T(t)$ 、及び露光開始前に露光光による照射熱の影響が無い一定温度の状態に計測した相関係数 $\alpha(t)$ の初期値 α_0 を用いて、相関係数 $\alpha(t)$ として、以下の式の値を使用する。

$$\alpha(t) = (1 - \delta T(t)) \cdot \alpha_0 \quad \dots (9)$$

次に、図11に示す露光動作を行う。即ち、図11のステップ121のウエハ間処理工程において、図1のZチルトステージ19上のウエハの交換、不図示のアライメントセンサのベースライン量の計測、及び交換後のウエハ(ウエハ14とする)の例えばエンハンスト・グローバル・アライメント(EGA)方式によるアライメントを行った後、ステップ122において、ウエハ14の露光対象のショット領域(チップ)を走査開始位置に移動し、ステップ123において、露光光の非発光時間、又は前に基準透過率を計測してから経過時間が所定の時間 T_{nonf} (例えば30s)以下であるかどうかを判定する。そして、その非発光時間、又はその経過時間が T_{nonf} より大きくなっているときには、ステップ130に

* おく定数である。

3) C_a : 透過率の変動率[%/W]であり、露光プロセス毎に予め求めておく定数である。

【0069】更に、その(7)式中の関数(以下、「照射パワー」という) $W(t)$ は次式で表すことができる。

【0070】

【数1】

移行して、ステップ110と同様に図6に示すように基準透過率としての平均的な透過率 $\langle T \rangle$ を計測する。そして、リセット処理として、ステップ111における透過率の変動率のトラッキング開始時の動作と同様に、透過率の変動率の初期値 $\delta T(t - \Delta t)$ として(7A)式を代入する。その後、動作はステップ124に移行する。

【0074】一方、ステップ123でその非発光時間、又はその経過時間が T_{nonf} 以下であるときには、ステップ124に移行して、露光開始直前での透過率の変動率 $\delta T(t)$ を次のショット露光に反映させる。即ち、前の時点で(又はリセット処理として)計算された透過率の変動率 $\delta T(t - \Delta t)$ を(7)式に代入して、現時点tでの透過率の変動率 $\delta T(t)$ を算出する。そして、この変動率 $\delta T(t)$ を上記の(9)式に代入して相関係数 $\alpha(t)$ を算出する。

【0075】次のステップ125において、露光コントローラ26は、ウエハ上の次ショットの走査露光条件、即ち設定露光量 S_0 、ウエハ上の1点当たりの露光パルス数N、エキシマレーザ光源1の発光周波数f、エキシマレーザ光源1での目標パルスエネルギーの設定値 E_t 、ウエハの走査速度V、及びエネルギー粗調器3の透過率の設定値 T_{adj} を決定する。この際に、次のショット領域(チップ)を露光中の目標パルスエネルギー E_t は、設定露光量 S_0 、計算上の1点当たりの露光パルス数N、及び(9)式のリアルタイムの相関係数 $\alpha(t)$ を用いて次式で表される。

【0076】

$$E_t = (S_0 / N) / \alpha(t) \quad (10)$$

そして、図7に示すように、ウエハ14に対しては露光領域12Wを相対的に軌跡30に沿って移動させることによって露光を行うものとする(実際にはウエハ14側が移動する)、ショット領域31(2,1)、31(3,1)、…の順に走査露光が行われる。そこで、露光コントローラ26は、ウエハ14上で次に露光を行う位置(i, j)のショット領域に対する走査露光条件をエキ

シマレーザ光源1及びステージコントローラ17に設定する。露光中の最初は目標パルスエネルギー E_t と、図2のエキシマレーザ光源1中のエネルギーモニタ1cによる実際の計測値 E_t' とをパルス毎に比較し、その差分をレーザ共振器1aにフィードバックすることによって、パルスエネルギーの制御が行われる。

【0077】その後、ステップ126において、エキシマレーザ光源1のパルス発光が開始され、図7に示すように露光領域12Wに対してウエハ14を走査方向SD（Y方向）に走査速度Vで走査することによって、当該ショット領域への走査露光が行われる。この際の露光量制御は一例として次のように行われる。即ち、図1の露光コントローラ26は、エキシマレーザ光源1のパルス発光の開始前に発光パルス数 n を計数するための内部のレジスタよりなるパルスカウンタのリセットを行う。その後、レチクル11及びウエハ14が同期してそれぞれ等速走査されるようになって、ウエハ14上の露光対象のショット領域の端部が露光領域12Wにさしかかる直前（発光開始点）に到達してから、露光コントローラ26はエキシマレーザ光源1にパルス発光を開始させる。そして、各パルス発光毎に、露光コントローラ26はインテグレータセンサ25を介して各パルス照明光1Lのパルスエネルギーを計測する。

【0078】本例では、エキシマレーザ光源1は、順次発光されるパルス照明光に対して、任意の連続する最小露光パルス数（ N_{min} ）と同じ個数のパルス当たりの積算エネルギーが、一定値である $E_t \cdot N_{min}$ になるようなフィードバック制御でパルス発光を行う。このため、 i パルス目（ $i=0, 1, 2, \dots$ ）を発光させたときにインテグレータセンサ25を介して計測したパルスエネルギーを P_i とする。なお、 $P_0=0$ とする。そして、それまでに計測されたパルスエネルギー P_i を用いて、露光コントローラ26は次のように次のパルス発光時のパルスエネルギーの目標値を算出し、この目標値をエキシマレーザ光源1に設定する。

【0079】この場合、図9（a）に示すように、ウエハ14上の点55に対して今までに（ $n-1$ ）パルスの露光が行われ、 n パルス目の露光を待っている状態を想定する。図9（a）において、矩形の露光領域12Wは説明の便宜上非走査方向（X方向）の幅を狭く表現しており、露光領域12Wに対するウエハ14の走査方向を+Y方向としている。また、図9（b）の実線の折れ線の点54-1～54-（ $n-1$ ）は、点55が露光領域12Wに対して移動する途中で与えられた積算露光量を表しており、図9（b）において、横軸は各露光パルスが照射されたときの点55のY座標に対応している。また、図9（b）の点線の直線53は、各パルス発光が行われる際の目標積算露光量を表しており、点55に対する積算露光量を N パルス目の露光によって設定露光量 S_0 に所定の許容範囲で合致させるのが露光量制御の目的

である。

【0080】このとき、 i パルス目にインテグレータセンサ25を介して計測されたパルスエネルギー P_i を、エネルギーモニタ1cでの計測値に換算した値を E_i （ $=\alpha 2 \cdot P_i$ ）とすると、最も簡単な制御方法として、 n パルス目の露光待ちの点55にとっての次パルスの目標露光量 $E_t(n)$ を、次のようにすればよい。

【0081】

【数2】

$$E_t(n) = E_t \cdot N_{min} - \sum_{i=n-(N_{min}-1)}^{n-1} E_i$$

$$= E_t - \sum_{i=n-(N_{min}-1)}^{n-1} (E_i - E_t) \quad \dots (11)$$

【0082】露光コントローラ26は、各パルス光の発光毎にそのように算出されたパルスエネルギー $E_t(n)$

（ n ）をエキシマレーザ光源1に出力し、エキシマレーザ光源1はそれに応じた発光を行う。また、各パルス発光毎に露光コントローラ26は内部のパルスカウンタの値 n に1を加算した後、露光対象のショット領域が露光領域12Wを通過したかどうか、即ちウエハ14が露光終了点に到達したかどうかを判定する。これはステージコントローラ17からの各ステージの位置情報等から判定することができる。そして、露光終了点に達したときには、走査終了の処理、即ちパルス発光の停止を行う。

【0083】更に、露光コントローラ26は、露光が終わったショット領域の間隔 Y_{step} の各点について、インテグレータセンサ25によって計測されるパルスエネルギーを積算して像面上での積算露光量 R_k （ $k=1, 2, \dots$ ）を算出する。図8（b）はこのようにショット領域の各点毎に算出される積算露光量 R_k の一例を示し、この図8（b）の横軸はショット領域内の走査方向の位置 Y を示している。このとき、露光コントローラ26は、一連の積算露光量 R_k の平均値 R_{ave} 、最大値 R_{max} 、及び最小値 R_{min} を求め、これらのパラメータ R_{ave} 、 R_{max} 、 R_{min} の値がそれぞれ許容範囲内にあるかどうかを判別し、判別結果を不図示の主制御系に出力する。その後、図11のステップ127に移行して、ウエハ14上で次に露光するショット領域が有るときには、ステップ128に移行して次のショット領域を走査開始位置に移動してステップ123～127の露光動作を行う。

【0084】その後、全部のショット領域の露光が終了したときにはステップ127からステップ129に移行して、同一ロット内で未露光のウエハが有るかどうかをチェックする。そして、未露光のウエハが有るときには、ステップ121～128の動作が繰り返されて、次に露光するウエハが無くなったときに露光工程を終了する。この露光後のウエハが、現像工程、エッチング等のパターン形成工程、及びレジスト剥離工程等を所定回数経た後、ダイシング、ボンディング、パッケージング等

の工程を経ることで、半導体デバイスが製造される。

【0085】このように本例によれば、投影光学系13を含むビームスプリッタ7からウエハ14までの光学系の透過率のパルス照明光1Lの照射、及び照射停止による変動率 $\delta T(t)$ を算出し、この変動率を用いてエキシマレーザ光源1のパルスエネルギーを補正している。従って、その光学系中の石英ガラスの透過率が短期的に変動する場合でも、ウエハ14上の各ショット領域内の各点において積算露光量を設定露光量に対して許容範囲内に収めることができる。

【0086】なお、ステップ111において、制御定数として用いている変動率 C_a 、及び時定数 τ_a は初期的に求めておけばその後も継続して使えるわけではなく、硝材への照射によって中長期的に変化することが本発明者によって確かめられている。そこで、これらの制御定数*

$$\tau_a' = \tau_a \cdot \{ (P_{std}/P) \cdot (1/\eta(Y)) \}^k \quad \cdots (12A)$$

$$C_a' = C_a \cdot \{ (P_{std}/P) \cdot (1/\eta(Y)) \}^k \quad \cdots (12B)$$

この場合には、(7)式における時定数 τ_a 及び変動率 C_a の代わりにそれぞれ τ_a' 及び C_a' を使用すればよい。べき数 k は、一例として $1/2$ (平方根)であるが、実際には実験的に定めればよい。

【0088】また、これを一般化すると、像面での平均*

$$\tau_a' = \tau_a \cdot g_1(P, \eta(Y)) \quad \cdots (13A)$$

$$C_a' = C_a \cdot g_2(P, \eta(Y)) \quad \cdots (13B)$$

又は、新たな時定数 τ_a' 及び変動率 C_a' は、平均パルスエネルギー P 、及び照射パワー係数 $\eta(Y)$ に対してテーブルとして記憶しておいてもよい。

【0089】更に、これまで述べてきた透過率の変動率の予測制御において、ウエハ間処理の直後には予測精度が落ちることが本発明者の実験より分かってきた。例えば、ウエハ間処理としてアライメントマークの位置計測等のように、非発光時間が比較的長い時間継続した直後の数個のショット領域への露光時に予測精度が低下する。そのような場合を考慮して、本例ではステップ123において、非発光時間が所定時間 T_{unif} より長く経過した直後のショット領域への露光時には、ステップ130に移行して基準透過率の実測を行い、その実測値の変動量を(7A)式のようにして、トラッキングをリセットしている。これによって、透過率の予測精度の低下が防止できる。

【0090】次に、図11のステップ126における露光量制御動作の他の例につき説明する。この例では、エキシマレーザ光源1は、所定の単位パルス数当たりの積算エネルギーが一定になるようなフィードバック制御でパルス発光を行う。即ち、最小露光パルス数 N_{min} よりも小さい所定の発光パルス数 N_{unit} の発光が行われる時間を単位時間 T_{unit} (これは発光周波数 f_k によって変化する)とすると、エキシマレーザ光源1は初期状態では、単位時間 T_{unit} 毎に出力されるパルス光のエネルギーモニターcによって計測されるエネルギー積算値がE

*は定期的に更新することが望ましい。更に、実際には変動率 C_a 、及び時定数 τ_a は、像面でのパルスエネルギー(フルエンス)、(6)式の照射パワー係数 η

(Y)、及びレチクルの透過率分布にも依存して変化する。そこで、露光量制御精度を更に向上するためには、露光中に変動率 C_a 、及び時定数 τ_a も更新することが望ましい。そのためには具体的に、図10のステップ103において、像面での平均パルスエネルギー P が算出されたときに、演算部26bでは、それまでの透過率変動の時定数 τ_a 及び透過率の変動率 C_a を次式によって新たな時定数 τ_a' 及び変動率 C_a' に更新する。なお、 P_{std} は、それまでの時定数 τ_a 及び変動率 C_a のデータ取りを行ったときに計測された像面フルエンスであり、べき数 k は整数又は半整数である。

【0087】

*パルスエネルギー P 、及び照射パワー係数 $\eta(Y)$ の関数 $g_1(P, \eta(Y))$ 、及び $g_2(P, \eta(Y))$ を用いて、新たな時定数 τ_a' 及び変動率 C_a' は次のように表すことができる。

$$\tau_a' = \tau_a \cdot g_1(P, \eta(Y)) \quad \cdots (13A)$$

$$C_a' = C_a \cdot g_2(P, \eta(Y)) \quad \cdots (13B)$$

$t \cdot N_{unit}$ となるようにパワーロックを行う。但し、これのみでは、パルスエネルギーのばらつき、及びドリフトによってウエハ上での積算露光量が設定露光量 S_0 から外れる恐れがある。そこで、インテグレータセンサ25の計測値に基づいて、パルスエネルギーの誤差分を相殺するように、次にエキシマレーザ光源1で発光されるパルスエネルギーの調整を行う。

【0091】この場合、 i パルス目($i=0, 1, 2, \dots$)を発光させたときにインテグレータセンサ25を介して計測したパルスエネルギーを P_i とする($P_0=0$)。そして、それまでに計測されたパルスエネルギー P_i を用いて、露光コントローラ26は次のように次のパルス発光時のパルスエネルギーの目標値を算出し、この目標値をエキシマレーザ光源1に設定する。

【0092】この場合にも、図9(a)に示すように、ウエハ14上の点55に対して今までに $(n-1)$ パルスの露光が行われ、 n パルス目の露光を持っている状態を想定する。この際のパルスエネルギーの制御は、 N_{unit} 個の発光パルス数を単位として行われる。また、図9(b)の実線の折れ線の点54-1~54-($n-1$)は、点55が露光領域12Wに対して移動する途中で与えられた積算露光量を表し、点線の直線53は、各パルス発光が行われる際の目標積算露光量を表しており、点55に対する積算露光量を N パルス目の露光によって設定露光量 S_0 に所定の許容範囲で合致させるのが露光量制御の目的である。

【0093】この場合、 i パルス目にインテグレータセンサ25を介して計測されたパルスエネルギー P_i を、エネルギーモニタ1cでの計測値に換算した値を $E_i (= \alpha 2 \cdot P_i)$ とすると、 n パルス目の露光待ちの点55に
 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000

$$E_t(n) = E_t - W_A (E_{n-1} - E_t) - W_B \sum_{i=n-1-N_{unit}}^{n-1} (E_i - E_t) \quad \dots (14)$$

【0095】この(14)式において、右辺の第2項は、直前のパルスエネルギーの誤差($E_{n-1} - E_t$)に重率 W_A を乗じて得られる直前のパルスの誤差相殺項であり、右辺の第3項は、その前の N_{unit} パルス分のパルスエネルギーの誤差の積分値に重率 W_B を乗じて得られる誤差相殺項である。即ち、本例では直前のパルスエネルギーの誤差、及びその前の N_{unit} パルス分のパルスエネルギーの誤差に基づいて、次のパルスエネルギーができるだけ目標値である E_t に近付くような制御を行っており、2つの重率 W_A 、 W_B の比率によって制御精度を最適化することができる。露光コントローラ26は、各パルス光の発光毎にそのように算出されたパルスエネルギー $E_t(n)$ をエキシマレーザ光源1に出力し、エキシマレーザ光源1はそれに応じた発光を行う。この後の動作は上記の実施の形態と同様である。

【0096】次に、最近では、2つの異なる照明条件を*

$$\begin{aligned} \delta T(t) &= \{\delta T(t-\Delta t) \cdot \exp(-\Delta t / \tau_{a_{i-1}}) \\ &\quad + C_{a_{i-1}} \cdot 0 \cdot \{1 - \exp(-\Delta t / \tau_{a_{i-1}})\} \\ &\quad + \{\delta T(t-\Delta t) \cdot \exp(-\Delta t / \tau_{a_i}) \\ &\quad + C_{a_i} \cdot W(t) \cdot \{1 - \exp(-\Delta t / \tau_{a_i})\} \\ &= \{\delta T(t-\Delta t) \cdot \exp(-\Delta t / \tau_{a_{i-1}}) \\ &\quad + \{\delta T(t-\Delta t) \cdot \exp(-\Delta t / \tau_{a_i}) \\ &\quad + C_{a_i} \cdot W(t) \cdot \{1 - \exp(-\Delta t / \tau_{a_i})\} \quad (15) \end{aligned}$$

このとき、更に図1の投影光学系13の瞳面(レチクル11に対する光学的なフーリエ変換面)上で0次光同士が非干渉な2つの照明条件(例えば輪帯照明及び小 σ 値の照明)の組み合わせでの二重露光では、(15)式を用いても予測精度が低下することが実験により分かってきた。このために2重露光の際、又は照明条件を切り換える毎に確認のための透過率計測を行い、初期値のリセットを行うようにしてもよい。これでもウエハ内の各ショット領域での予測精度が所定のレベルに達しないことがあり、この場合にはウエハ内の各ショット領域への露光前にも確認のための透過率計測を行うことが望ましい。必要となる計測頻度は、切り替えに要した時間を T_c 、現在の照明条件での平均照射パワーを W_{PRES} とすると、 T_c と W_{PRES} との関数で表される。

【0098】また、上記の実施の形態において、図6のように光学系の非走査方向(X方向)の透過率分布を計測した場合に、そのばらつき、即ち照度むらの変化が所定の許容範囲を超えると、ウエハ上の各点での積算露光量のばらつきが大きくなって、積算露光量が目標値に対して許容範囲内に収まらない部分が生じる恐れがある。

* 率(重み) W_A 、 W_B [無次元]を用いて次のようにする。

【0094】

【数3】

※交互に用いて、それぞれ異なるレチクルを露光し、ウエハ上の各ショット領域(各チップ)を露光するようないわゆる二重露光法が使用されるようになっている。この二重露光法を上記の実施の形態に適用する場合には、1ロットの処理の先頭で、各照明条件毎にステップ107~110の制御パラメータ(制御定数)の初期値計測を行い記憶部26aに記憶する。そして、光学系の透過率の変動率 $\delta T(t)$ のトラッキングは、(7)式の代わりにその変動量を時間に対して線形と見なした以下の式を用いて行うものとする。

【0097】この際に、使用中でない前の照明条件を($i-1$)番目の照明条件、使用中の現在の照明条件を i 番目の照明条件として、 i 番目の照明条件での変動率 C_a を C_{a_i} 、時定数 τ_a を τ_{a_i} とすると、以下の式のような線形系として扱うことができる。

そこで本例では、そのような場合には、露光光の照射を停止して緩和効果によってその透過率が均一化するまで露光を行わないようにするか、又はレチクルを外して投影光学系13に一樣に露光光を照射して、透過率分布を均一化するようにしている。これによって、積算露光量の誤差が許容範囲を超えることが防止できる。

【0099】また、上記の実施の形態では、インテグレータセンサ25を用いて投影光学系13を含む光学系を通過する光量を算出しているが、より正確にその光学系を通過する光量を算出するために、図1の反射量モニタ60で計測される光量をも考慮するようにしてもよい。なお、上記の実施の形態では、石英ガラスの透過率変動に起因する透過率の変動率を予測しているが、例えば露光光として波長が170nm以下のパルス光を使用して、屈折部材として蛍石やフッ化マグネシウム(MgF_2)等を使用する場合にも、透過率の変動率が露光量に影響する場合には本発明の露光量の制御方法を適用することによって、露光量の制御精度を向上できる。更に、ミラー等の反射部材の反射率が変動する場合にも本発明が適用できる。

【0100】また、上記の実施の形態は、ステップ・アンド・スキャン方式よりなる走査露光方式の投影露光装置で露光を行う場合に本発明を適用したものであるが、本発明はステッパーのような一括露光型（静止露光型）の露光装置で露光を行う場合にも適用することができる。このように本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

【0101】

【発明の効果】本発明によれば、露光ビームの光量の計測点から第2物体までの光学系中に透過率や反射率が次第に変動するような光学部材が使用されている場合でも、露光対象の物体（ウエハ等の第2物体）上で高い露光量制御精度が得られる。また、本発明によれば、パルス光を用いて露光を行う場合に、光学系の透過率（反射率も含めた全体の透過率）が次第に変動しても、露光対象の物体上で高い露光量制御精度が得られる。

【0102】また、本発明をデバイス製造方法に適用した場合には、高い露光量制御精度が得られるため、線幅精度等に優れた高機能のデバイスを量産できる。

【図面の簡単な説明】

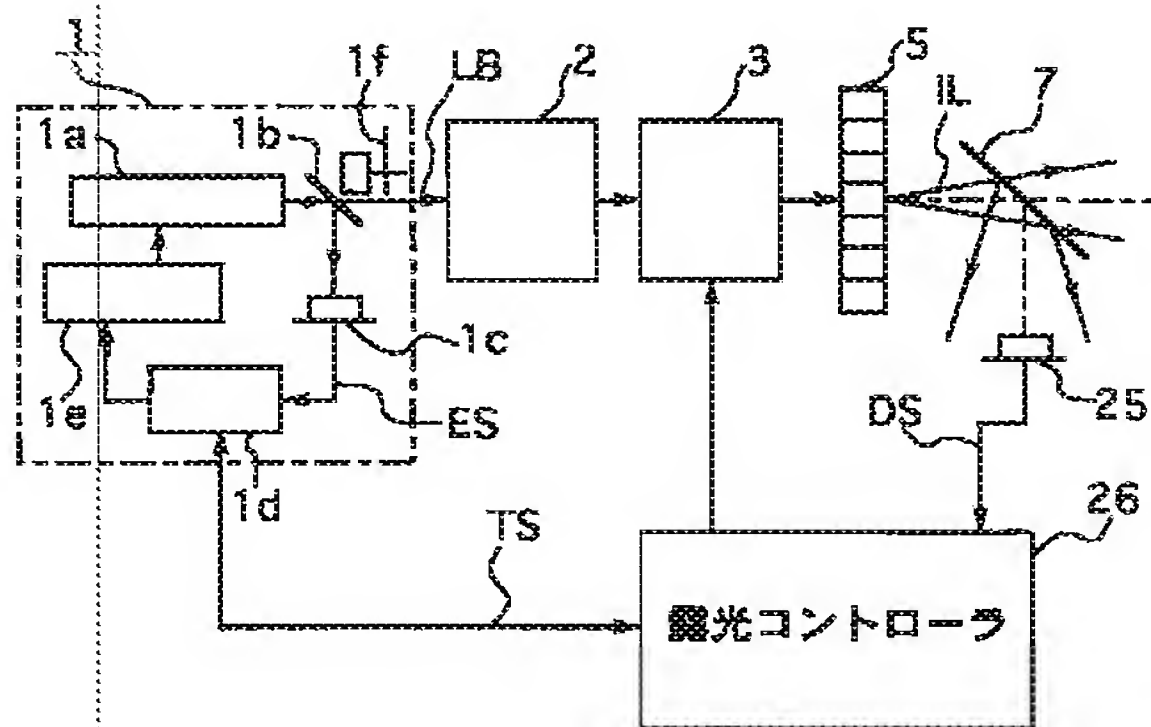
【図1】 本発明の実施の形態の一例で用いられるステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置を示す構成図である。

【図2】 図1の投影露光装置の露光量制御系を示すブロック図である。

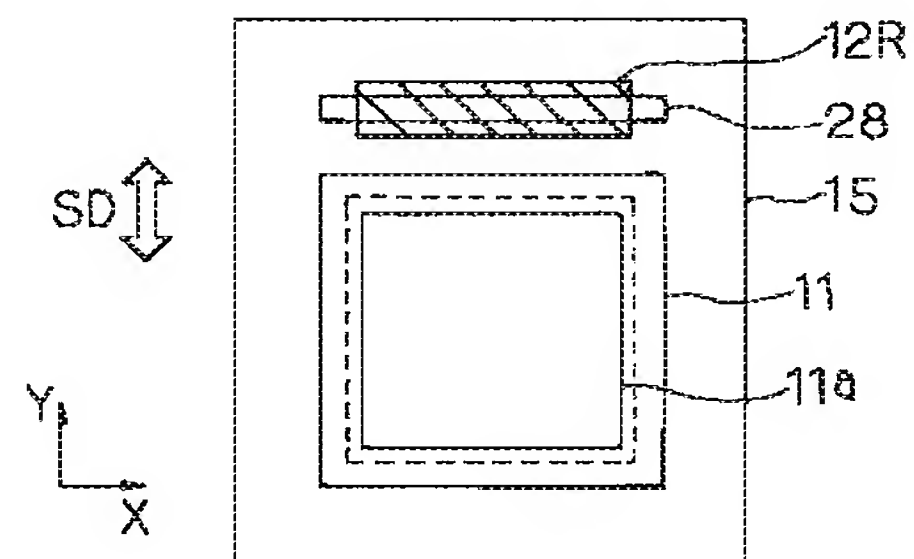
【図3】 (a)は図1中のビームスプリッタ7からウエハ14までの光学系の透過率の変動の一例を示す図、(b)は図1中の可動照野絞り9Bの開口率の変化の一例を示す図である。

【図4】 図1のレチクルステージ15を示す平面図で*

【図2】



【図4】



【図6】



* ある。

【図5】 計測スリットの像をウエハステージ側の照度むらセンサ21Pで走査する状態を示す平面図である。

【図6】 本発明の実施の形態の光学系の非走査方向への透過率分布の計測結果の一例を示す図である。

【図7】 その実施の形態で露光対象とするウエハのショットマップを示す平面図である。

【図8】 (a)はインテグレートセンサ25の処理量と、エネルギーモニタ1cの処理量との相関データの一例を示す図、(b)はウエハ上のショット領域内の一連の複数点における積算露光量の一例を示す図である。

【図9】 ウエハ上の或る点に対してnパルス目の露光を行う場合の目標パルスエネルギーの算出方法の説明図である。

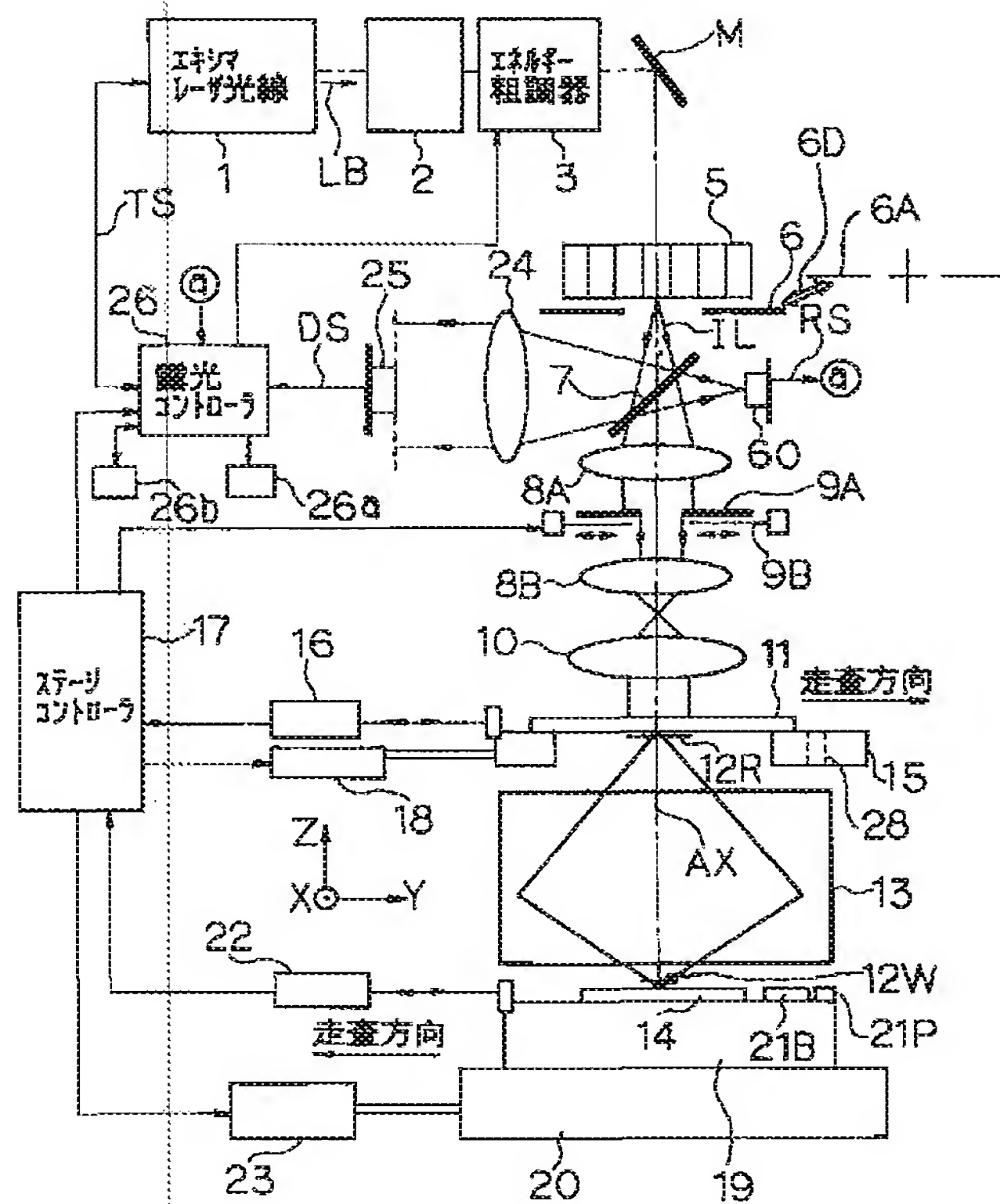
【図10】 その実施の形態の一例における走査露光の前処理を示すフローチャートである。

【図11】 その実施の形態の一例における走査露光時の露光量制御動作を示すフローチャートである。

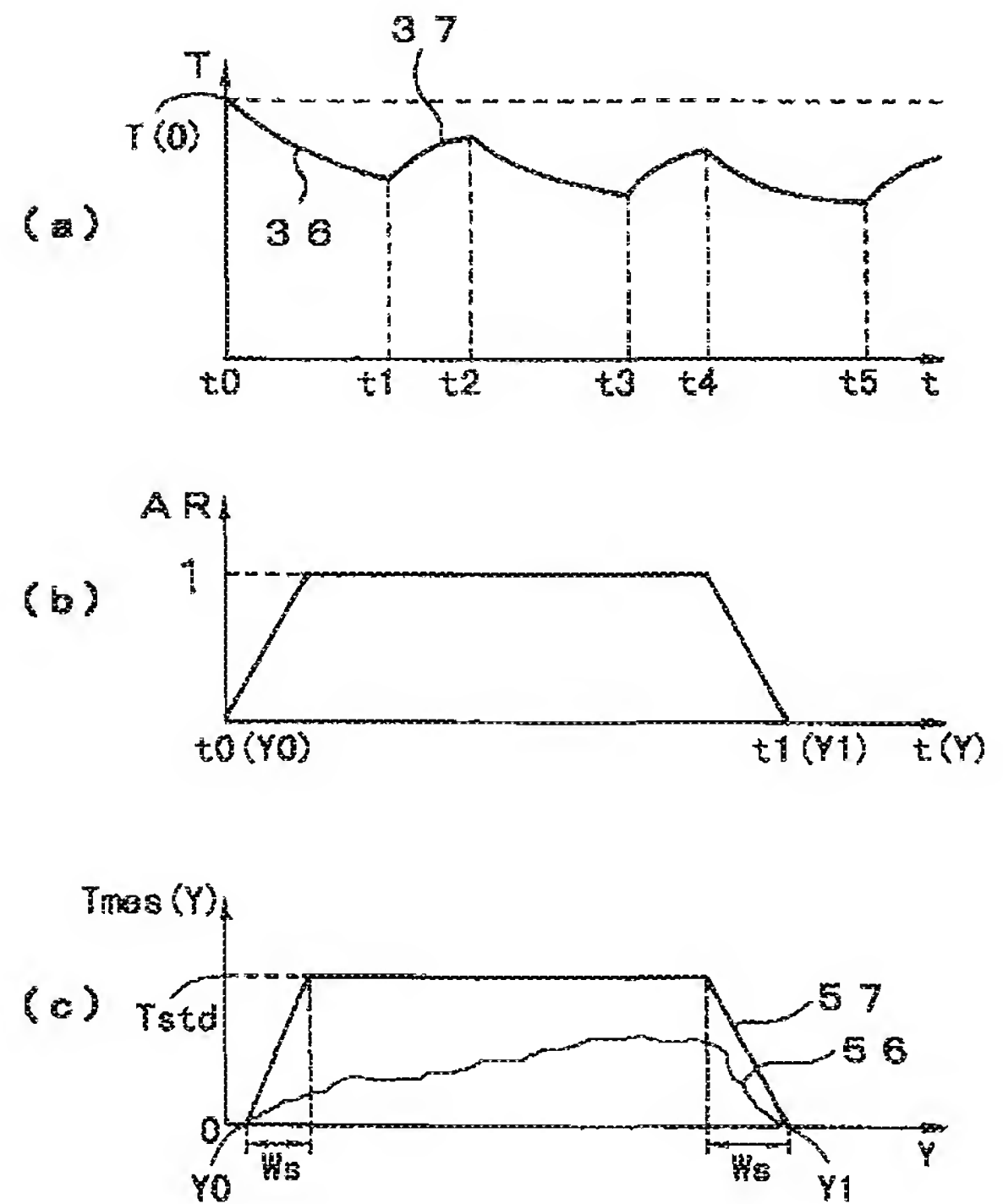
【符号の説明】

1…エキシマレーザ光源、1c…エネルギーモニタ、1d…エネルギーコントローラ、1e…高圧電源、2…ビーム整形光学系、3…エネルギー粗調器、7…ビームスプリッタ、9B…可動照野絞り、10…コンデンサレンズ、11…レチクル、12W…ウエハ上での矩形の露光領域、13…投影光学系、14…ウエハ、15…レチクルステージ、17…ステージコントローラ、19…Zチルトステージ、20…XYステージ、21B…照射量モニタ、21P…照度むらセンサ、25…インテグレートセンサ、26…露光コントローラ、26a…記憶部、26b…演算部、28…計測スリット

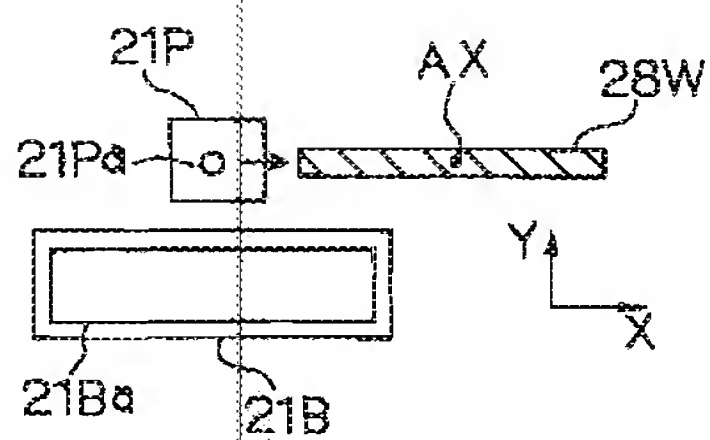
【図1】



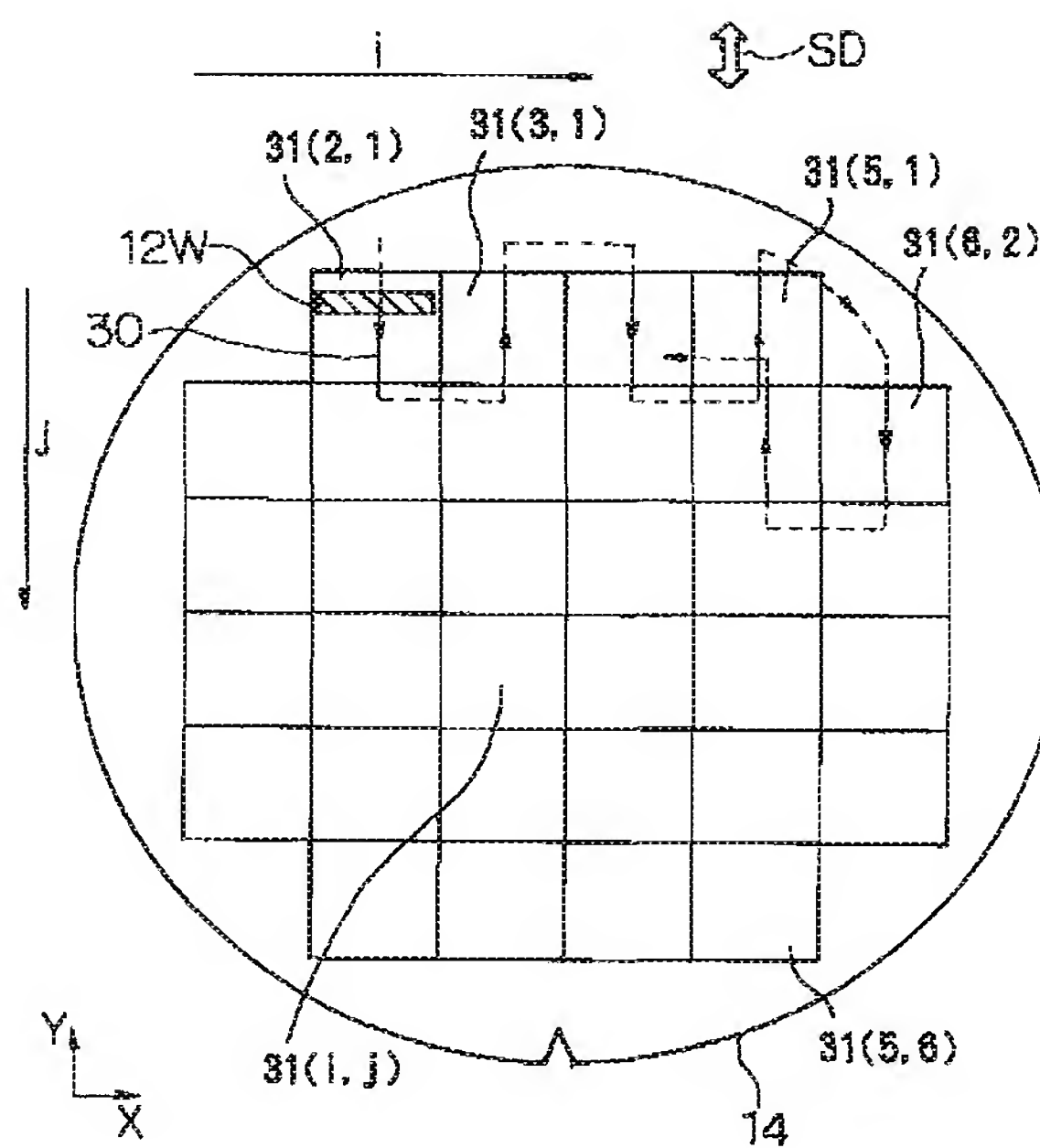
【図3】



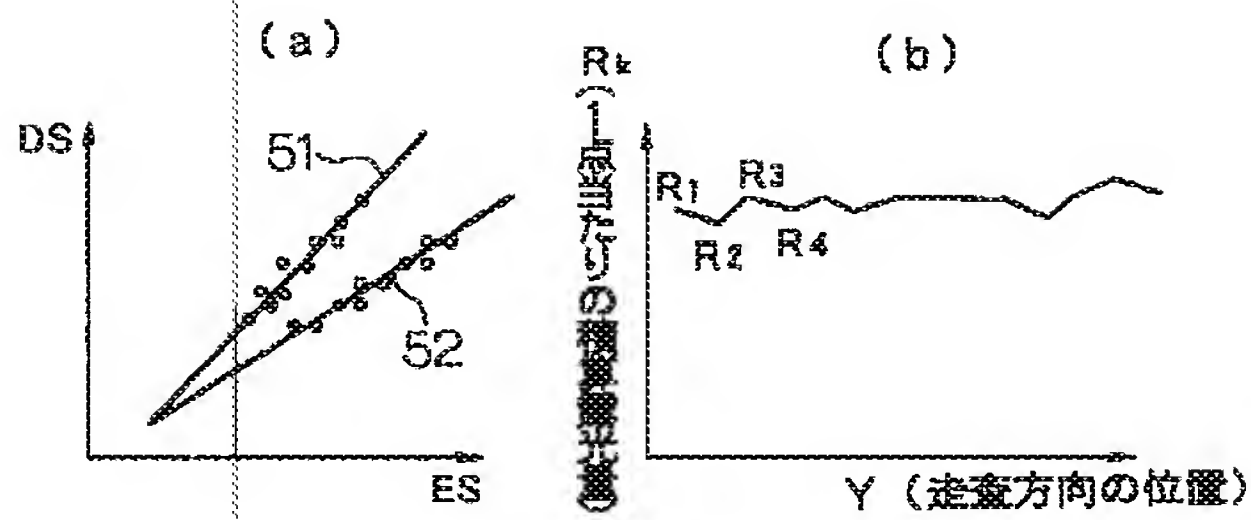
【図5】



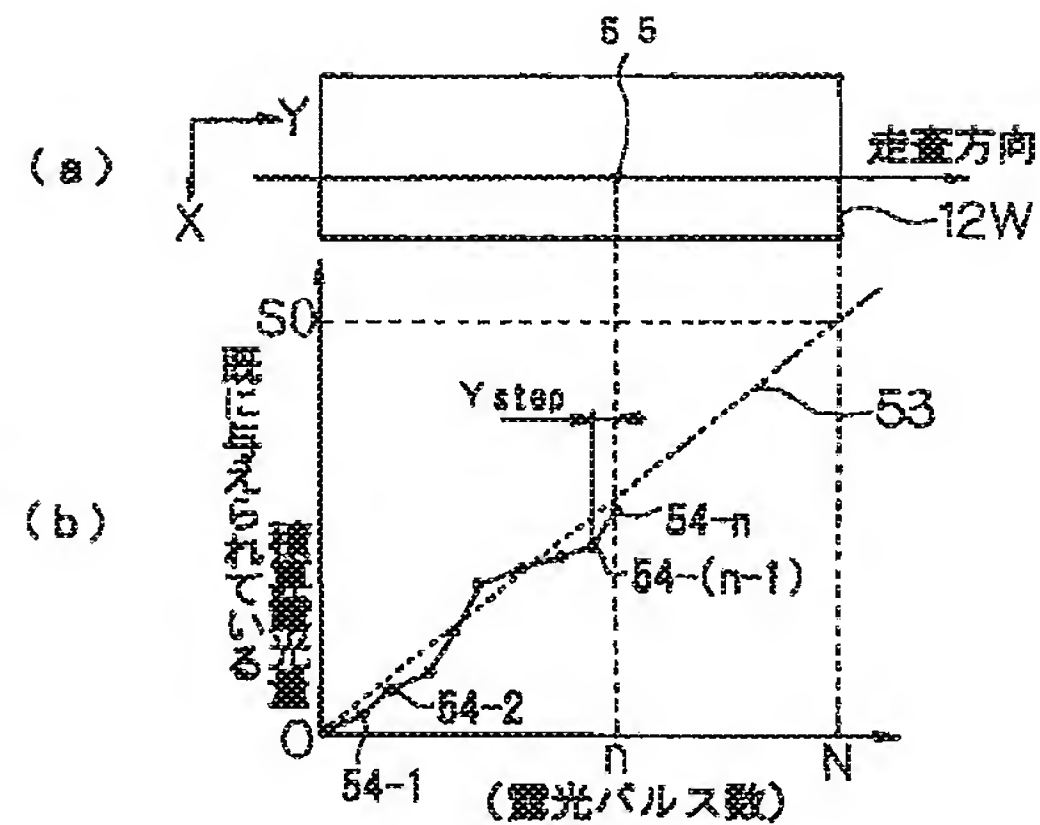
【図7】



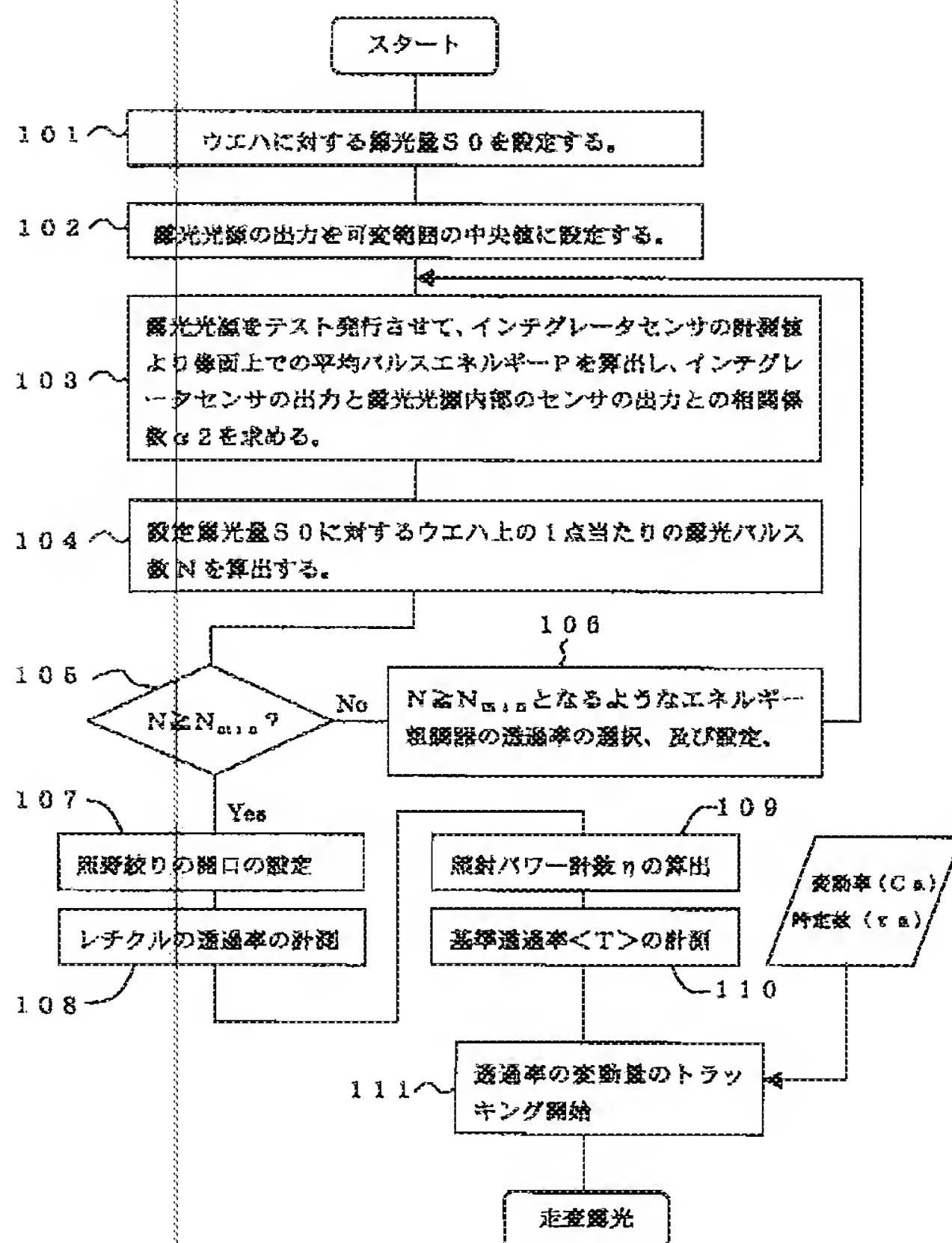
【図8】



【図9】



【図10】



【図11】

